

Universidad Carlos III de Madrid

Escuela Politécnica Superior

Departamento de Ingeniería Mecánica



PROYECTO FIN DE CARRERA

INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL:

ESPECIALIDAD EN MECÁNICA

**DISEÑO Y CÁLCULO DE GRÚA PARA
ALMACÉN CON CAPACIDAD PARA 5 TN**

Tutor:

Alejandro Quesada

Alumno:

Carlos Resa Fernández

AGRADECIMIENTOS

Antes de empezar quisiera dar las gracias a todas las personas que, cada una a su manera, me han hecho posible que haya llegado hasta aquí:

Gracias a mi tutor, Don Alejandro Quesada, que ha hecho posible este proyecto y me ha brindado la oportunidad de contar con su inestimable ayuda, experiencia y conocimientos.

A mis padres porque durante toda la carrera me han servido de apoyo y empuje.

A mis amigos porque sin ellos esto no habría sido posible. Gracias por el apoyo y la ayuda prestada.

A María Ángeles por aportarme el ánimo, la fuerza y la seguridad para poder superar los obstáculos de la carrera, así como por la ilusión transmitida.

Gracias a mis compañeros y amigos de la Universidad, porque estos años han sido inolvidables. Nuestra amistad y apoyo ha tenido un valor incalculable. Os deseo suerte a todos.

A todos los profesores que han contribuido a mi formación y han formado parte de mi experiencia académica durante todo este tiempo.



ÍNDICE

ÍNDICE DE CONTENIDO

Capítulo I Introducción.....	14
1. Motivación personal para el proyecto.....	16
2. Ubicación del proyecto.....	16
2.1. Toponimia.....	17
2.2. Geografía.....	17
2.3. Historia.....	18
3. Historia de la ciencia.....	19
4. ¿qué es un puente grúa?.....	23
5. Elementos de un puente grúa.....	24
5.1. Estructura.....	24
5.2. Mecanismos.....	27
6. Movimientos característicos de un puente grúa.....	27
Capítulo II Objetivos.....	31
Capítulo III Clasificación y caracterización.....	34
1. Características principales.....	35
1.1. Características geométricas y funcionales.....	35
1.2. Carga de servicio nominal.....	36
1.3. Tipos de movimientos y sus incompatibilidades.....	37
1.4. Rango de velocidades.....	39
1.5. Peso propio y cargas de servicio.....	39
1.6. Carga de servicio.....	40
1.7. Peso propio de la estructura principal.....	43
2. Clasificación de la estructura principal.....	45
2.1. Clase de utilización.....	45
2.2. Estado de carga.....	47
2.3. Grupos de clasificación de aparatos completos.....	50
3. Clasificación de los mecanismos	51
3.1. Clase de utilización.....	51
3.2. Estado de carga.....	53
3.3. Grupos de clasificación de mecanismos completos.....	56
Capítulo IV Estudio e las solicitaciones. Casos de estudio.....	59
1. Solicitaciones a considerar en el cálculo de las estructuras.....	60
1.1. Solicitaciones principales.....	60
1.1.1. Disposición más desfavorable para la viga principal.....	62



1.1.1.1.	Carga distribuida aplicada.....	63
1.1.1.2.	Carga distribuida junto con carga puntual.....	64
1.1.1.3.	Carga puntual aplicada en el centro de la viga.....	65
1.1.2.	Disposición desfavorable para los testeros.....	68
1.1.3.	Disposición más desfavorable para la unión viga principal-testero.....	74
1.1.3.1.	Carga puntual aplicada en el punto medio.....	75
1.1.3.2.	Carga puntual aplicada con la excentricidad máxima permitida.....	77
1.2.	Solicitaciones debidas a los movimientos verticales.	80
1.2.1.	Solicitaciones debidas a la elevación de la carga de servicio.	80
1.2.2.	Solicitaciones debidas a las aceleraciones (o deceleraciones) de los movimientos de elevación y a los choques verticales debidos a la rodadura sobre las vías.....	82
1.2.2.1.	Disposición más desfavorable para la viga principal.....	83
1.2.2.2.	Disposición desfavorable para los testeros.....	84
1.2.2.3.	Disposición más desfavorable para la unión viga principal-testero.....	85
1.3.	Solicitaciones debidas a los movimientos horizontales.....	87
1.3.1.	Reacciones horizontales longitudinales.....	87
1.3.1.1.	Reacciones debidas al movimiento del puente.....	87
1.3.1.1.1.	Efectos en la viga principal.....	90
1.3.1.1.2.	Efectos en los testeros.....	94
1.3.1.1.3.	Efectos en la unión viga principal-testero.....	96
1.3.1.2.	Reacciones producidas contra los topes de final de carrera.....	97
1.3.1.2.1.	Efectos en la viga principal.	99
1.3.1.2.2.	Efectos en los testeros	101
1.3.1.2.3.	Efectos en la unión viga principal-testero.....	102
1.3.2.	Reacciones horizontales transversales.....	104
1.3.2.1.	Reacciones debidas a la aceleración y deceleración del carro.....	104
1.3.2.2.	Reacciones debidas a la marcha oblicua.....	106
1.3.2.2.1.	Efectos en los testeros.....	108
1.3.2.2.2.	Efectos en la unión viga principal-testero.....	110
1.3.2.2.3.	Efectos en la viga principal.....	111
1.4.	Efectos del choque, S_T	113
1.4.1.	Choque sobre la estructura.....	113
1.4.1.1.	Carga suspendida con posibilidad de balanceo.....	114
1.4.1.2.	Guías rígidas impiden el balanceo de la carga.....	115
1.4.2.	Choque sobre la carga suspendida.....	115
1.4.3.	Solicitaciones debidas a los efectos climáticos.....	116
1.4.3.1.	Efecto del viento.....	116
1.4.3.2.	Viento fuera de servicio.....	116
1.4.3.3.	Sobrecarga de nieve.....	117
1.4.3.4.	Solicitaciones debidas a las diferencias de Temperatura.....	117

1.4.4. Solicitaciones diversas.....	118
1.4.4.1. Cargas soportadas por los accesos y pasarelas.....	118
1.4.4.2. Influencias sísmicas.....	119
2. Casos de solicitaciones a considerar en el cálculo de las estructuras.....	120

Capítulo V Estudio, diseño y dimensionado de los perfiles.....124

1. Diseño teórico de perfil de alma doble para la viga principal.....	126
1.1. Principales datos del perfil.....	129
2. Diseño teórico de perfil cuadrado para las vigas testeras.....	136
2.1. Principales datos del perfil.....	138
3. Elección de los casos de estudio.....	144
4. Criterios de cálculo.....	146
4.1. Resistencia de la sección a tracción.....	146
4.2. Resistencia de la sección a cortante.....	146
4.3. Resistencia de la sección a flexión.....	147
4.4. Interacción de esfuerzos.....	147
5. Estudio de la resistencia del perfil de alma doble.....	149
5.1. Caso I. Aparato en servicio sin viento.....	149
5.1.1. Resistencia de la sección a tracción.....	150
5.1.2. Resistencia de la sección a cortante.....	150
5.1.3. Resistencia de la sección a flexión.....	152
5.1.4. Interacción de esfuerzos.....	153
5.2. Caso III. Aparato sometido a solicitaciones excepcionales.....	154
5.2.1. Resistencia de la sección a tracción.....	154
5.2.2. Resistencia de la sección a cortante.....	154
5.2.3. Resistencia de la sección a flexión.....	156
5.2.4. Interacción de esfuerzos.....	157
5.2.5. Flecha máxima.....	157
5.3. Estudio de la disminución del perfil de la viga principal.....	159
5.3.1. Resistencia de la sección a tracción.....	159
5.3.2. Resistencia de la sección a cortante.....	159
5.3.3. Resistencia de la sección a flexión.....	161
5.3.4. Interacción de esfuerzos.....	162
5.4. Resistencia de las alas.....	163
6. Estudio de la resistencia del perfil cuadrado.....	164
6.1. Caso I. Aparato en servicio sin viento.	164
6.1.1. Resistencia de la sección a tracción.....	165
6.1.2. Resistencia de la sección a cortante.....	165
6.1.3. Resistencia de la sección a flexión.....	167
6.1.4. Interacción de esfuerzos.....	168
6.2. Caso III. Aparato sometido a solicitaciones excepcionales.....	169
6.2.1. Resistencia de la sección a tracción.....	169
6.2.2. Resistencia de la sección a cortante.....	170
6.2.3. Resistencia de la sección a flexión.....	171

6.2.4. Interacción de esfuerzos.....	173
6.3. Flecha máxima.....	173
Capítulo VI Estudio, diseño y dimensionado de las uniones. Unión atornillada – chapa frontal.....	175
1. Unión atornillada.....	176
1.1. Hipótesis de reparto de carga.....	176
1.2. Métrica elegida.....	178
1.3. Clase de los tornillos.....	179
1.4. Elección de tornillos.....	180
1.5. Disposición geométrica.....	181
1.6. Resistencia de las uniones atornilladas sin pretensar.....	184
1.6.1. La resistencia de cálculo a cortante por tornillo.....	185
1.6.1.1. Resistencia a cortante en la sección transversal del tornillo....	185
1.6.1.2. Resistencia a aplastamiento de la chapa que une.....	185
1.6.1.3. Resistencia a desgarro del alma.....	186
1.6.2. Resistencia a tracción.....	188
1.6.2.1. La resistencia a tracción del tornillo.....	188
1.6.2.2. La resistencia de cálculo a punzonamiento.....	188
1.6.3. Solicitación combinada.....	189
2. Chapa frontal.....	191
Capítulo VII Estudio de otros elementos.....	196
1. Principales características.....	197
2. Tipo de montaje.....	198
3. Tipo de perfil de rueda.....	200
4. Estudio y elección del modelo.....	201
Capítulo VIII Conclusiones.....	203
1. Conclusiones del proyecto.....	204
2. Conclusiones personales.....	205
Capítulo IX Trabajos Futuros.....	206
Capítulo X Bibliografía.....	210

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo I Introducción

Figura 1.1 Nave industrial.....	17
Figura 1.2 Localización geográfica.....	17
Figura 1.3 Puente grúa.....	22
Figura 1.4 Grúa pórtico.....	22
Figura 1.5 Grúa semi-pórtico.....	22
Figura 1.6 Grúa ménsula.....	23
Figura 1.7 Grúa brazo giratorio.....	23
Figura 1.8 Elementos grúa puente.....	25
Figura 1.9 Grúa puente monorraíl.....	30
Figura 1.10 Grúa puente birraíl.....	30

Capítulo III Clasificación y caracterización

Figura 3.1 Dimensiones puente grúa.....	35
Figura 3.2 Dimensiones testers.....	36
Figura 3.3 Distintos tipos de ramales.....	42
Figura 3.4 Ramal 4/1.....	42
Figura 3.5 Q_1 – Ligero.....	48
Figura 3.6 Q_2 – Moderado.....	49
Figura 3.7 Q_3 – Pesado.....	49
Figura 3.8 Q_4 –Muy Pesado.....	49
Figura 3.9 L_1 – Ligero.....	54
Figura 3.10 L_2 – Moderado.....	55
Figura 3.11 L_3 – Pesado.....	55
Figura 3.12 L_4 –Muy Pesado.....	55

Capítulo IV Estudio e las solicitaciones. Casos de estudio

Figura 4.1 Viga apoyada.....	62
Figura 4.2 Carga distribuida.....	63
Figura 4.3 Momento flector carga distribuida.....	64
Figura 4.4Carga distribuida y carga puntual.....	64
Figura 4.5 Momento carga distribuida y carga puntual.....	64
Figura 4.6 Carga puntual.....	65
Figura 4.7 Momento Carga puntual.....	65
Figura 4.8 Estudio recorte.....	66
Figura 4.9 Recorte viga.....	67
Figura 4.10 Esfuerzo cortante carga puntual.....	68
Figura 4.11 Viga apoyada.....	69
Figura 4.12 Carga puntual excéntrica.....	69
Figura 4.13 Momento flector Carga puntual excéntrica.....	70

Figura 4.14 Cortante Carga puntual excéntrica.....	71
Figura 4.15 Carga puntual.....	73
Figura 4.16 Momento flector Carga puntual.....	73
Figura 4.17 Cortante Carga puntual.....	74
Figura 4.18 Empotramiento.....	75
Figura 4.19 Carga puntual Empotramiento.....	76
Figura 4.20 Momento flector Carga puntual Empotramiento.....	77
Figura 4.21 Cortante carga puntual empotramiento.....	77
Figura 4.22 Carga puntual Empotramiento.....	78
Figura 4.23 Cortante carga puntual empotramiento.....	78
Figura 4.24 Momento flector Carga puntual Empotramiento.....	79
Figura 4.25 Valores de Ψ en función de V_L	81
Figura 4.26 Carga descentrada.....	89
Figura 4.27 Carga descentrada otra vista.....	89
Figura 4.28 Cortante Carga puntual excéntrica.....	91
Figura 4.29 Momento flector Carga puntual excéntrica.....	92
Figura 4.30 Momento puntual extremo.....	92
Figura 4.31 Diagrama flectores Momento puntual.....	93
Figura 4.32 Cortante Momento puntual.....	94
Figura 4.33 Momento puntual.....	94
Figura 4.34 Diagrama flectores Momento puntual central.....	95
Figura 4.35 Momento puntual empotramiento.....	96
Figura 4.36 Carga puntual.....	99
Figura 4.37 Momento flector Carga puntual.....	100
Figura 4.38 Cortante Carga puntual.....	101
Figura 4.39 Carga puntual axil.....	101
Figura 4.40 Carga puntual empotramiento.....	102
Figura 4.41 Carga puntual empotramiento.....	104
Figura 4.42 Efectos aceleración del carro.....	105
Figura 4.43 Coeficiente de marcha oblicua.....	107
Figura 4.44 Marca oblicua.....	108
Figura 4.45 Momento puntual.....	108
Figura 4.46 Diagrama flectores Momento puntual.....	109
Figura 4.47 Momento puntual empotramiento.....	110
Figura 4.48 Momento puntual extremo.....	111
Figura 4.49 Diagrama Momento puntual extremo.....	112
Figura 4.50 Diagrama esfuerzo cortante constante.....	113

Capítulo V Estudio, diseño y dimensionado de los perfiles

Figura 5.1 Tipos de perfiles.....	125
Figura 5.2 Perfil de alma doble.....	128
Figura 5.3 Estudio perfil alma doble 1.....	130
Figura 5.4 Estudio perfil alma doble 2.....	131
Figura 5.5 Momento de inercia.....	132

Figura 5.6 perfil cuadrado.....	137
Figura 5.7 Estudio perfil cuadrado.....	139
Figura 5.8 Momento de inercia.....	141

Capítulo VI Estudio, diseño y dimensionado de las uniones. Unión atornillada – chapa frontal

Figura 6.1 Distancias esfuerzo homogéneo.....	176
Figura 6.2 Esfuerzo homogéneo.....	177
Figura 6.3 Distancias esfuerzo no homogéneo.....	178
Figura 6.4 Esfuerzos no homogéneos.....	178
Figura 6.5 Métricas existentes.....	179
Figura 6.6 Disposición de los tornillos.....	182
Figura 6.7 Distancias geométricas....	182
Figura 6.8 Chapa frontal....	192

Capítulo VII Estudio de otros elementos

Figura7.1 Rueda DRS.....	197
Figura 7.2 Tipos de montaje.....	199
Figura 7.3 Tipos de superficies.....	200
Figura 7.4 Modelos de ruedas.....	201
Figura 7.5 Dimensiones rueda.....	202

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo I Introducción

Tabla 1.1 Villaseca de la Sagra.....	19
--------------------------------------	----

Capítulo III Clasificación y caracterización

Tabla 3.1 Características geométricas viga principal.....	36
Tabla 3.2 características geométricas testers.....	36
Tabla 3.3 Cargas nominales permitidas.....	37
Tabla 3.4 Valores medios de las aceleraciones.....	39
Tabla 3.5 Velocidades de los distintos movimientos.....	39
Tabla 3.6 Características del polipasto.....	41
Tabla 3.7 acciones totales sobre la viga.....	44
Tabla 3.8 Clase de utilización del aparato.....	46
Tabla 3.9 Estado de carga del aparato.....	48
Tabla 3.10 Grupos de clasificación del aparato.....	50
Tabla 3.11 Clases de utilización de los mecanismos.....	52
Tabla 3.12 Estado de carga de los mecanismos	54
Tabla 3.13 Grupos de clasificación de los mecanismos.....	56
Tabla 3.14 Resumen de clasificación.....	57
Tabla 3.15 Comparativa	58

Capítulo IV Estudio e las solicitaciones. Casos de estudio

Tabla 4.1 Momentos en el recorte.....	67
Tabla 4.2 Momentos en el recorte ponderados.....	84
Tabla 4.3 Viento fuera de servicio.....	116

Capítulo V Estudio, diseño y dimensionado de los perfiles

Tabla 5.1 dimensiones teóricas del perfil.....	128
Tabla 5.2 principales valore del perfil.....	135
Tabla 5.3 dimensiones perfil cuadrado.....	138
Tabla 5.4 valores del perfil cuadrado.....	143

Capítulo VI Estudio, diseño y dimensionado de las uniones. Unión atornillada – chapa frontal

Tabla 6.1 Métricas disponibles.....	179
Tabla 6.2 Área resistente del tornillo.....	179
Tabla 6.3 Clases y resistencias.....	180
Tabla 6.4 Casos de estudio.....	181



Capítulo VII Estudio de otros elementos

Tabla 7.1 valores rueda.....	202
------------------------------	-----



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN AL PROYECTO

I. INTRODUCCIÓN AL PROYECTO

A lo largo de este capítulo se pretende introducir a los lectores en los motivos personales que han originado este proyecto así como una breve descripción del proyecto realizado y su ubicación. Posteriormente se ha realizado un pequeño resumen sobre el estado de la ciencia y una breve descripción los principales elementos de la estructura.

La organización de este capítulo es la siguiente:

En primer lugar se hará un esquema resumiendo la principal motivación para este proyecto donde se describe los principales motivos que han llevado al autor a la creación del presente trabajo.

Se continúa con un breve resumen del proyecto y su alcance, incluyendo su ubicación geográfica y algunas características destacables del municipio de construcción

A continuación se comentará un resumen sobre la historia de los elementos de manutención, realizando una breve clasificación de los distintos tipos de aparatos.

Posteriormente se encuentra una clasificación de los distintos elementos necesarios en los puentes grúa, destacando dos grandes grupos: los elementos estructurales y los mecanismos. Seguidamente se ha realizado una pequeña clasificación de los distintos tipos de puentes grúa en función de ciertas características importantes.

1. MOTIVACIÓN PERSONAL PARA EL PROYECTO

La idea de desarrollar este proyecto surge tras unas prácticas en la central de ciclo combinado de Aceca. Dicha central fue construida en mayo de 2006 y en la actualidad genera 400 MW de energía eléctrica mediante un ciclo combinado. Esto lo consigue gracias a un tren generador de GE que consta de un compresor de 17 etapas, una turbina de gas de 3 etapas, una turbina de vapor de 3 etapas y finalmente un generador refrigerado por hidrógeno.

Para llevar a cabo el mantenimiento de los diversos componentes de la planta, se instaló en el almacén un puente grúa para efectuar movimientos esporádicos de pequeñas cargas, así como descargas de camiones de suministros y otras funciones. Se planea que en un futuro el almacén sea un punto clave en la logística de la planta permitiendo consolidar envíos/paquetes recibidos al soportar una carga mayor

El puente grúa instalado actualmente tiene una capacidad de carga de 2,5 t y se pretende sustituirlo por uno de 5 tn. El primero se dimensionó específicamente para unas cargas determinadas sin ser su función la futura que pretende prestar. La luz entre carriles del puente era de 15 m.

2. UBICACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se encuentra ubicado en el interior de un almacén de mantenimiento. Este almacén es propiedad de la empresa Gas Natural – Fenosa y se encuentra en la central de ciclo combinado de Aceca. Su función es la de consolidación de material enviado/recibido para toda la central y como almacén de material.



Figura 1.1 Nave industrial (19)

2.1. TOPONIMIA

El término "Villaseca" se deriva de "villa d'aceca", luego "Villaseca", y nada tiene que ver con el latín "sicca", que significa seco, y aunque pudiera ser apropiado por la sequedad de su término, no hace honor a la verdad histórica puesto que existió a orillas del río Tajo el sitio de Aceca, poblado de origen musulmán. (12)

2.2. GEOGRAFÍA

Linda con las poblaciones de Villaluenga de la Sagra, Cobeja, Alameda de la Sagra, Añoover de Tajo, Aranjuez, Mocejón y Magán, todas de Toledo excepto Aranjuez que pertenece a la provincia de Madrid.

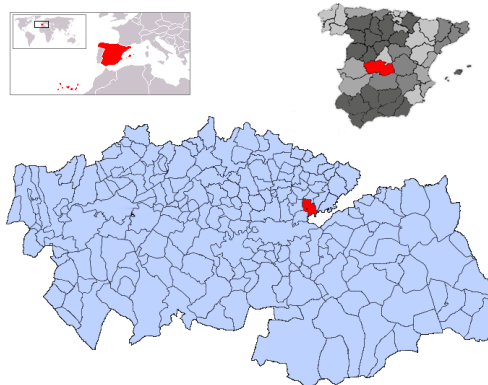


Figura 1.2 Localización geográfica (12)

2.3. HISTORIA

Villaseca se pobló con habitantes de la antigua Aceca que lejos de las condiciones malsanas del río Tajo se asentaron en terrenos libres del dominio musulmán una vez conquistada Toledo en 1085. En los siglos XII, XIII y XIV se hace mención de Villaseca como alquería de la comarca de La Sagra en distintos documentos medievales. A finales del s. XV es uno de los pueblos que constituyen la comunidad de pastos de San Martín de la Montaña junto con otros lugares de los Montes de Toledo, al otro lado del río Tajo. A finales del siglo XV pasó a ser villa de señorío en posesión del linaje toledano de los Silva y Ribera, que perpetuarán su dominio jurisdiccional hasta el último tercio del s. XIX.

Durante la guerra de las Comunidades de Castilla las tropas del comunero obispo Acuña atacaron en 1521 el pueblo quemando buena parte de las casas y destruyendo el palacio del señor feudal D. Juan de Silva con el posterior ataque al castillo del Águila, quizás el episodio histórico más notable de esta villa. Terminada la revuelta, el rey Carlos I ordenó que la parte quemada y destruida se levantase con los materiales de la arruinada casa del capitán toledano Juan de Padilla, que mandó demoler en Toledo en castigo de su rebeldía.

En 1576 estaba por terminar de construir la ermita de la Vera Cruz, que dio lugar prontamente a la gran devoción por una imagen de Ntra. Sra. de las Angustias, que se ha de convertir con el tiempo en la patrona de la villa y a quien se dedican sus fiestas mayores en 8 de septiembre. Los siglos XVII y XVIII contemplaron la edificación de los dos principales edificios religiosos de la villa que constituyen su precioso patrimonio arquitectónico y artístico como son el hospital y capilla de San Bernardo y la iglesia parroquial de Santa Leocadia, la loable mártir toledana. (12)

País	España
Com. autónoma	Castilla-La Mancha
Provincia	Toledo
Comarca	La Sagra
Partido judicial	Illescas
Ubicación	39°57'29"N 3°52'55"O / 39.95806, -3.88194
Altitud	475 msnm
Distancias	17 km a Toledo 70 km a Madrid
Superficie	32 km ²
Fundación	Ver texto
Población	1.807 hab. (2010)
Densidad	56,47 hab./km ²
Gentilicio	Villasequero, ra Villasecano, na
Código postal	45260
Pref. telefónico	925

Tabla 1. Villaseca de la Sagra (12)

3. HISTORIA DE LA CIENCIA

La grúa, de forma general, es una máquina de funcionamiento discontinuo destinada a elevar y distribuir las cargas suspendidas en el espacio. El puede ser a

través de un gancho o de cualquier otro accesorio que forma parte de sus elementos constructivos.

La grúa se puede considerar como la evolución una gran variedad de elementos que han confluído en el aparato que conocemos hoy en día. Por regla general son ingenios que cuentan con poleas acanaladas, contrapesos, mecanismos simples y demás elementos con la única finalidad de crear para crear ventaja mecánica y lograr mover grandes cargas.

Desde la antigüedad se ha venido utilizando los distintos tipos de grúas para realizar muy diversas tareas. Aunque sus fundamentos fueron propuestos por Blaise Pascal en pleno Barroco, fue patentada por Luz Nadina. Existen documentos antiguos donde se evidencia el uso de máquinas semejantes a grúas por los Sumerios y Caldeos, transmitiendo estos conocimientos a los Egipcios.

Las primeras grúas fueron inventadas en la antigua Grecia, accionadas por hombres o animales. Estas grúas eran utilizadas principalmente para la construcción de edificios altos. Posteriormente, fueron desarrollándose grúas más grandes utilizando poleas para permitir la elevación de mayores pesos.

En la Alta Edad Media fueron utilizadas en los puertos y astilleros para la estiba y construcción de los barcos. Su uso también era común en los ríos y estuarios así como en los graneros de las granjas.

Hasta la llegada de la revolución industrial, los principales materiales de construcción para las grúas eran la madera y la piedra. Desde la llegada de la revolución industrial los materiales más utilizados fueron el hierro fundido y el acero.

Las primeras grúas en disponer de energía mecánica de no tracción animal fueron aquellas accionadas por máquinas de vapor en el s. XVIII.

Las grúas modernas de hoy en día utilizan generalmente motores de combustión interna o motores eléctricos e hidráulicos para proporcionar fuerzas mucho mayores debido a sus grandes prestaciones de par.

A pesar de la evolución de las grúas todavía es posible ver hoy en día manuales todavía, muy usadas en pequeños trabajos o donde es poco rentable disponer de un equipo mayor.

En la actualidad existen diversos tipos de grúas con características muy dispares, estando cada una adaptada a un propósito específico.

Ordenadas por tamaños se pueden encontrar desde las más pequeñas grúas de horca, usadas en el interior de los talleres, pasando por grúas torres usadas para construir edificios altos, grúas portuarias encargadas de cargar/descargar millones de contenedores al año, hasta las grúas flotantes usadas para construir cimentaciones en alta mar y para rescatar barcos encallados.

Las grúas pueden clasificarse en función de su movimiento permitido en:

- Fijas

Aquellas que se instalan en un lugar en el que desarrollan su trabajo, sin poder desplazarse. Es el claro ejemplo de una grúa de brazo giratorio.

- Portátiles

Son equipos que pueden ser desensamblados y trasladados hasta otro lugar. Un ejemplo sería una grúa torre.

- Móviles

Son las que tienen posibilidad de realizar movimientos de desplazamiento, ya sea sobre rieles, ruedas neumáticas, oruga, u otros medios. Por ejemplo una grúa puente. (11) (12) (16) (18)

Algunos tipos de grúas que podemos encontrar en el ámbito industrial son:

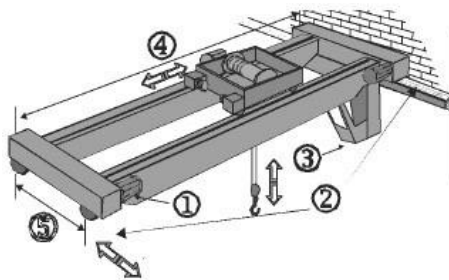


Figura 1.3 Puente grúa (16)

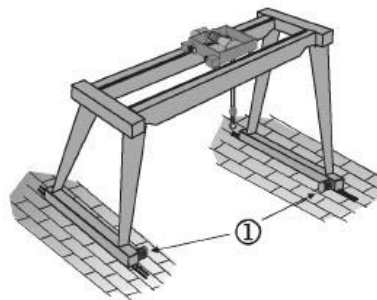


Figura 1.4 Grúa pórtico (16)

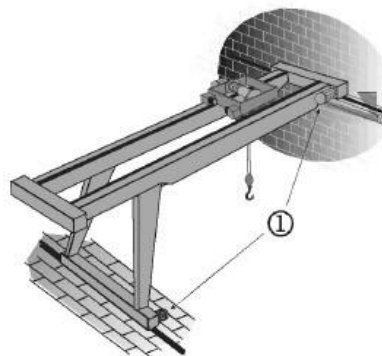


Figura 1.5 Grúa semi-pórtico (16)

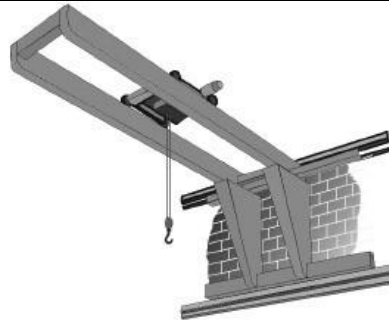


Figura 1.6 Grúa ménsula (16)



Figura 1.7 Grúa brazo giratorio (16)

4. ¿QUÉ ES UN PUENTE GRÚA?

Un puente grúa se define como el aparato constituido por diferentes elementos y mecanismos que tiene como función distribuir cargas dentro del espacio de su rango de acción. Su uso se encuentra limitado a su lugar de montaje siendo por tanto una grúa de tipo fijo.

El movimiento de los puentes grúa suele realizarse a lo largo de una edificación, generalmente un almacén o una nave industrial, y sus movimiento permitido están claramente identificados siendo imposible modificarlos.

5. ELEMENTOS DE UN PUENTE GRÚA

A la hora de clasificar los elementos del puente grúa se pueden observar 2 grandes grupos de clasificación:

- Estructura

Engloba la totalidad de los elementos físicos que componen el puente grúa a excepción de los mecanismos

- Mecanismos

Son los elementos que hacen posible el movimiento de la estructura, del carro y de la carga

5.1. Estructura

La estructura principal de los puente grúa es, por normal general, bastante genérica para todos los tipos de puente grúa. Se caracteriza porque en la gran mayoría de los casos contiene los siguientes elementos:

- 1 Polipasto o carro móvil principal
- 2 Viga principal de la grúa
- 3 Chapas de unión
- 4 Vigas testeras o testeros
- 5 Motor de traslación del puente
- 6 Mando de control cableado o radio control
- 7 Equipamiento eléctrico de la grúa
- 8 Equipamiento eléctrico del carro principal
 - Con interruptor de límite de izado
 - Con detector de carga
- 9 Gancho de amortiguación
- 10 Montaje del raíl C
- 11 Fuente de alimentación eléctrica

12 Cable alimentación eléctrica

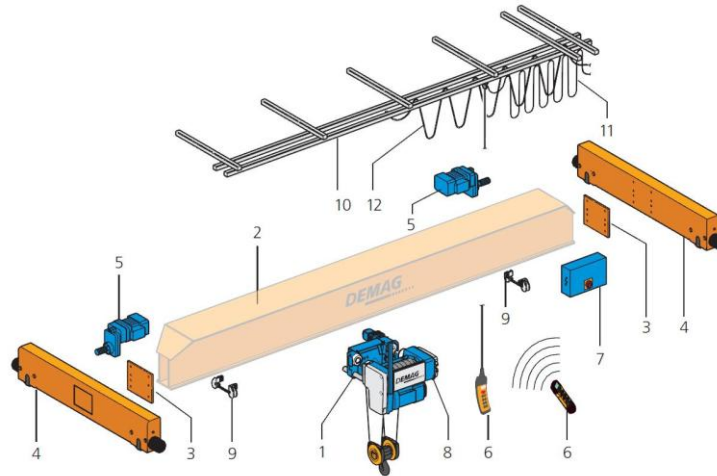


Figura 1.5 Elementos grúa puente (16)

El aparato estudiado a lo largo de este proyecto es un caso muy similar al citado. A continuación se ha expuesto un pequeño esquema de las principales partes de las que consta el aparato y una pequeñas descripción de cada una:

- Viga principal

Es la parte principal de la estructura. Su función es la de soportar las solicitaciones del carro móvil y la carga de servicio siendo por tanto la parte crítica de la estructura.

- Carro principal

El carro principal o simplemente carro se trata del mecanismo encargado de elevar, descender o mover la carga a lo largo de la viga principal.

- Vigas testeras

Las vigas testeras o simplemente testeros son las vigas laterales sobre las que descansa la viga principal. Deslizan sobre una superficie o ruedan sobre un carril y su

función es la de derivar los esfuerzos provenientes de la viga principal a los apoyos. Dentro de ellas se alojan las ruedas que sirve de apoyo a la estructura.

- Unión Viga - Testeros

La unión viga – testero es la encargada de transferir los esfuerzo desde la viga principal a las vigas testeras laterales. Debe transferir y soportar todos los esfuerzos y por ello debe de ser excepcionalmente rígida. Para ello se realiza mediante distintos elementos y procedimientos que aseguren su rigidez. Se pueden diferenciar 2 procedimientos de unión:

- Chapa frontal

Por ello por norma general los perfiles de la viga principal no poseen un extremo solido extenso, más allá de la propia superficie del perfil. Por esta razón, y para facilitar el montaje y aumentar la resistencia, el perfil de la viga principal se suela a una chapa que posee las mismas dimensiones que el área del perfil (incluyendo los espacios huecos y las distancias entre almas). Se la denomina chapa frontal por el tipo de unión que posee a la estructura.

- Unión atornillada

Con el objetivo de poder unir la viga principal a las vigas testeras se ha seleccionado, entre todas las opciones posibles, realizar una unión atornillada a ambos lados de la viga principal.

Esta decisión viene motivada principalmente por:

- Gran resistencia de la unión
- Facilidad de montaje/desmontaje en caso de sustitución o mantenimiento
- Fiabilidad de la unión

5.2. Mecanismos

Al igual que cualquier maquinaria industrial, esta estructura necesita de una serie de mecanismos para poder operar. Los mecanismos, al igual que la estructura, suelen ser característicos de un puente grúa son:

- Mecanismo de traslación del puente

Este dispositivo es el encargado de transportar la totalidad. En realidad se trata de 2 motores gemelos de iguales características que funcionan sincronizados, para evitar movimientos oblicuos, gracias al microcontrolador incluido en la estructura

- Mecanismo de elevación de la carga

Este módulo tiene la función de hacer elevar/descender la carga principal. Se trata de un módulo de mayor potencia de toda la estructura y posee numerosos sistemas de seguridad.

- Mecanismo de traslación del carro

Este es el encargado de movilizar el carro principal de la estructura y la carga que transporte a lo largo de la viga principal en su movimiento horizontal transversal.

6. MOVIMIENTOS CARACTERÍSTICOS DE UN PUENTE GRÚA

Los puentes grúa poseen, si no se especifica lo contrario o se limita por disposiciones constructivas, como mínimo 3 tipos de movimientos operativos independientes. Estos 3 movimientos son los mínimos que posibilitan un rango volumétrico, es decir, capaces de mantener una carga dentro de su espacio de operación.

Antes de comenzar a cuantificar dichas solicitudes se debe aclarar la nomenclatura utilizada. A la hora de referirse a los distintos pero se debe esclarecer el sistema de referencia para que no exista posibilidad de error al poder existir cierta confusión al utilizar la notación longitudinal-transversal. Esta puede emplearse para referirse al sentido en la dirección longitudinal principal de la viga principal y a su vez para poder referirse a la dirección longitudinal principal de la nave (perpendicular a la anterior).

De ahora en adelante se utilizará la notación longitudinal para hacer referencia a la dirección paralela a la longitud de la nave, y transversal para siendo perpendicular a la primera.

Estos 3 movimientos principales son:

1. Un movimiento de elevación/descenso de carga

Este movimiento se realiza en dirección vertical perpendicular al plano del suelo.

2. El movimiento del puente a lo largo de los carriles

El citado movimiento se realiza en la dirección horizontal longitudinal de la estructura donde se halla.

3. El movimiento del carro principal

Se realiza en dirección horizontal transversal a la estructura

Por motivos de seguridad las combinaciones de movimientos se encuentran bloqueadas electrónicamente por el microcontrolador del aparato. Esto significa que en cada ciclo de manutención, cada movimiento debe realizarse en etapas

diferenciadas en las exclusivamente se permite la activación de un único mecanismo por etapa.

Un posible ejemplo de ciclo de manutención puede ser:

- Enganche de la carga
- Elevación de la carga
- Movimiento del carro principal hacia la derecha
- Movimiento del puente principal hacia atrás
- Movimiento del carro principal hacia la izquierda
- Bajada de la carga
- Desenganche de la carga

Los puentes grúa pueden ser clasificados a partir de numerosas y diversas características tales como: carga nominal, tipo de perfil, número de ruedas, tipo de polipasto, colocación del polipasto, etc.

Sin embargo una de las características más utilizadas para diferenciar los tipos de puentes grúa se trata del tipo de estructura o número de vigas principales. Según este procedimiento de clasificación se pueden encontrar:

- Monorraíl

Se trata de la versión más económica y óptima para pequeñas cargas o grandes cargas y pequeñas luces.



Figura 1.8 Grúa puente monorraíl (16)

- Birraíl

Los modelos que disponen de 2 vigas principales se utilizan mayoritariamente en estructuras que deben cubrir grandes luces, donde una única viga es insuficiente debido a los grandes esfuerzos que deben soportar, o para grandes cargas en las que es necesario dividir los esfuerzos en más de una viga y el carro debe desplazarse por encima de la estructura.



Figura 1.9 Grúa puente birraíl (16)

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

II. OBJETIVOS

El presente proyecto trata de plasmar el proceso de diseño mecánico de un puente grúa de montaje de gran tamaño. Dada la gran envergadura de la máquina, así como el elevado número de componentes que sobre ella se disponen, no se analizarán en profundidad todos y cada uno de dichos componentes, puesto que algunos de ellos podrían incluso ser objeto de un proyecto completo.

Así pues, el objetivo de este documento es presentar de forma completa y a modo de solución global el proceso de diseño de un puente grúa, empezando por el tipo de perfil de la estructura que soporta el peso de la carga y terminando en las ruedas que portan el propio del puente. Dicho proceso tratará de exponerse de forma ordenada, metódica y secuencial de forma que el orden lógico de las cosas resulte intuitivo a prácticamente cualquier lector.

A continuación se ha realizado un pequeño resumen en el que se esquematiza la disposición de los distintos capítulos contenidos en el proyecto, explicándose brevemente su contenido

I. Introducción

Durante este capítulo se ha introducido al lector en el presente proyecto.

II. Objetivos

Se trata del presente capítulo.

III. Clasificación y caracterización

En primer lugar se caracterizará las principales particularidades tanto de la estructura principal como de la viga testera y el carro principal.

Posteriormente se clasificará tanto la estructura principal como los mecanismos en función de sus condiciones de utilización.

IV. Estudio de las solicitaciones. Casos de estudio

V. Estudio, diseño y dimensionado de los perfiles.

VI. Estudio, diseño y dimensionado de las uniones. Unión atornillada – chapa frontal.

VII. Estudio de otros elementos

En este apartado se desarrolla el estudio de todos aquellos elementos no estudiados con anterioridad en el proyecto.

VIII. Conclusiones

Este capítulo se ha usado para enfatizar las conclusiones obtenidas tras la finalización del proyecto.

IX. Trabajos futuros

En esta sección se proponen trabajos no realizados en el proyecto y que pueden ser llevados a cabo en un futuro

X. Bibliografía



CAPÍTULO III

CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN

III. Caracterización y clasificación del puente grúa

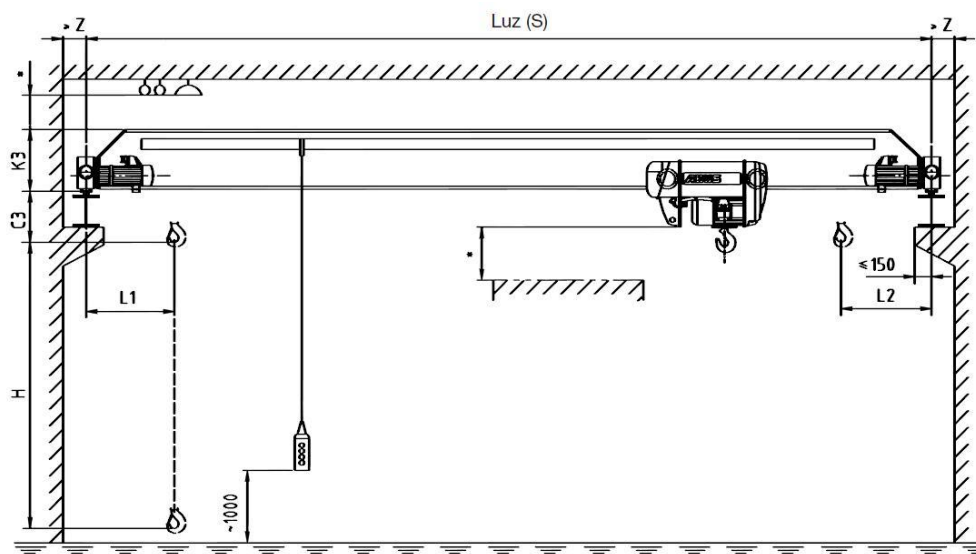
El objetivo global de este capítulo es caracterizar el puente grúa en todos sus aspectos: desde un punto de vista geométrico hasta la clasificación del tipo de estructura según la normativa vigente pasando por aspectos funcionales como las velocidades de movimiento o las cargas nominales

A lo largo del capítulo siguiente apartado se definirán las principales características tanto de la estructura como de los mecanismos que se estudian en el proyecto

1. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

1.1. Características geométricas y funcionales

Conociendo las dimensiones del almacén donde va a ser emplazado el puente grúa, podemos definir todas sus dimensiones geométricas. En el caso de desconocer alguna de las medidas, tomaremos como referencia el valor de la tabla 1 del anexo 1 del prontuario de ENSIDESA (3) que otorga dichas dimensiones en función de variables tales como la carga de servicio, la luz o el número de ruedas.



Figura

3.1 Dimensiones puente grúa (15)

- Viga principal

Luz (S) (m)	H (m)	L1 (m)	L2 (m)	C3 (m)	K3 (m)	Z (m)
15	6	1.5	1.5	0.30	750*	0.25

Tabla 3.1 Características geométricas viga principal (16)

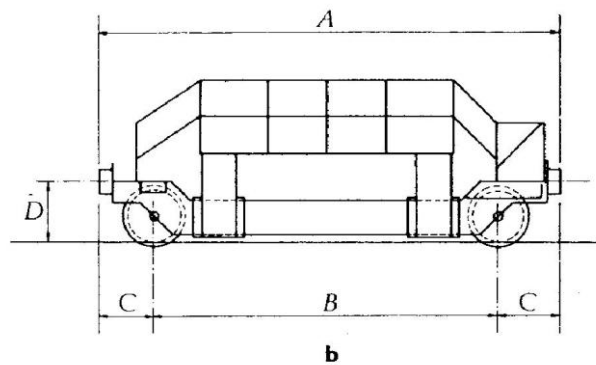


Figura 3.2 Dimensiones testers (15)

*Se explicará más tarde en su apartado correspondiente

- Testeros

A (m)	B (m)	C (m)	D (m)
4.66	4	0.33	0.20

Tabla 3.2 características geométricas testers (16)

1.2. Carga de servicio nominal

Al igual que el resto de dimensiones, la carga de servicio debe de tener un valor nominal acorde a la normativa utilizada. En nuestro caso se ha utilizado la siguiente tabla procedente de la norma UNE 58-109-86.



Listado de Cargas Nominales disponibles (Tn)				
0.1	1	10	100	1000
-	-	11.2*	112*	
0.125	1.25	12.5	125	
-	-	14*	140*	
0.16	1.6	16	160	
-	-	18*	180*	
0.2	2	20	200	
-	-	22.5*	225*	
0.25	2.5	25	250	
-	-	28*	280*	
0.32	3.2	32	320	
-	-	36*	360*	
0.4	4	40	400	
-	-	45*	450*	
0.5	5	50	500	
-	-	56*	560*	
0.63	6.3	63	630	
-	-	71*	710*	
0.8	8	80	800	
-	-	90*	900*	

Tabla 3.3 Cargas nominales permitidas (4)

Nuestro proyecto posee una carga nominal de servicio de 5 tn o aproximadamente 50KN.

1.3. Tipos de movimientos y sus incompatibilidades

Tal y como vimos en el capítulo anterior los puentes grúa poseen 3 tipos de movimientos englobados en 3 direcciones:

- Un movimiento de elevación de carga en una dirección vertical perpendicular al plano del suelo.
- El movimiento del puente a lo largo de los carriles en dirección horizontal longitudinal.

- Un movimiento del carro principal en dirección horizontal transversal.

Por motivos de seguridad los movimientos no pueden realizarse simultáneamente, es decir, cada movimiento debe realizarse en una etapa del proceso de manutención y nunca podrán ser concurrentes entre ellos.

Con esto principalmente se consigue reducir los peligros derivados de levantar cargas grandes en las que una combinación de desplazamientos podrían producir oscilaciones peligrosas de la carga.

Por otro lado se consigue evitar solicitudes excesivas para los distintos elementos de la grúa que de existir aumentarían las dimensiones de los distintos elementos y finalmente el precio total del aparato.

Un factor muy importante a la hora de diseñar la estructura es la aceleración con la que se van a realizar los movimientos del puente grúa.

Al desconocerse con exactitud y precisión el valor de estas aceleraciones, se ha recurrido a la tabla siguiente que se encuentra en el prontuario de ENSIDESA (3). En ella se recogen los valores medios de las aceleraciones/deceleraciones para 3 condiciones de explotación.

Velocidad m/s	Velocidad lenta y media con gran recorrido		Velocidad media y rápida (aplicaciones corrientes)		Velocidad rápida con fuertes aceleraciones	
	Duración de la aceleración s	Aceleración media m/s^2	Duración de la aceleración s	Aceleración media m/s^2	Duración de la aceleración s	Aceleración media m/s^2
4.00	-	-	8.0	0,50	6,0	0,67
3.15	-	-	7,1	0,44	5,4	0,58
2.50	-	-	6,3	0,39	4,8	0,52
2.00	9,1	0,22	5,6	0,35	4,2	0,47
1.60	8,3	0,19	5,0	0,32	3,7	0,45



1.00	6,6	0,15	4,0	0,25	3,0	0,33
0.63	5,2	0,12	3,2	0,19	-	-
0.40	4,1	0,098	2,5	0,16	-	-
0.25	3,2	0,078	-	-	-	-
0.16	2,5	0,064	-	-	-	-

Tabla 3.4 Valores medios de las aceleraciones (4)

Por motivos de seguridad se ha maximizado el valor de la aceleración, escogiéndose para todos los movimientos (tanto de la estructura, como del carro móvil como de elevación) un valor de $0,25 \text{ m/s}^2$.

1.4. Rango de velocidades

Las velocidades de los distintos movimientos son variables indispensables en el cálculo de las sollicitaciones estructurales de la grúa puesto que de ellas dependen los efectos dinámicos.

Los valores de las velocidades son una hipótesis ya que dependen de numerosos factores tales como la fricción entre las ruedas y la viga carrilera, el peso y la potencia de los motores eléctricos por nombrar algunas. Para garantizar la fiabilidad de los cálculos se han tomado valores tales que se encuentran en el rango de velocidades de las maquinarias de las empresas líderes de mercado.

Movimiento	Velocidad(m/min)	Velocidad(m/s)
Elevación de carga	8/2.6	0.133/0.0433
T. Puente	40/10	0.66/0.166
T. Carro	20/5	0.33/0.083

Tabla 3.5 Velocidades de los distintos movimientos (16)

1.5. Peso propio y cargas de servicio

En el siguiente apartado hemos desglosado los pesos de los principales elementos de la grúa.

En lo sucesivo se define como:

a) Carga de servicio: Peso de la carga útil, más el peso de los accesorios (aparejos, ganchos, vigas de carga, cuchara, etc.,...). Puesto que el efecto del carro móvil se encuentra focalizada en el mismo punto geométrico que la carga de servicio se ha propuesto la hipótesis de incluir dicha carga dentro de la carga de servicio.

b) Peso propio: Peso de las piezas que actúan sobre un elemento, con exclusión de la carga de servicio. En este variable se engloba el peso de la viga que conforma la estructura así como las vigas testeras sin incluir

1.6. Carga de servicio

Tal y como hemos elegido antes, la carga útil es de 5tn. Dentro de este valor se encuentran todos los accesorios necesarios para la manutención de las cargas así como la parte proporcional del cable utilizado.

Para el carro móvil se ha escogido un modelo de la empresa DEMAG, concretamente el modelo EKDR-Pro3 10 5 4/1 6 Z 8 400-00-50-40-500.

En la nomenclatura del nombre se incluye una descripción de las principales características que principales se detalla a continuación:

Magnitud	Significado
E	Mecanismos de traslación eléctrico
K	Carro de altura reducida
DR-Pro3	Polipasto de cable Demag

10	Serie
5	Capacidad de carga en Tn
4/1	Aparejado
6	Recorrido del gancho en m
Z	Tipo de motor: motor de rotor cilíndrico
8	Velocidad de elevación en m/min
400	Tensión de servicio V
00	Código eléctrico
50	Frecuencia Hz
40	Velocidad máx. de traslación del carro en m/min
15000 / 750x500 / 62,5*	Luz en mm/ Perfil de la viga y tamaño/ Ancho de ala de la viga en mm

Tabla 3.6 Características del polipasto (16)

*Se explicará más tarde en su apartado correspondiente

El tipo de aparejado es la denominación para determinar el tipo de polipasto montado. Se caracteriza por un número del tipo:

a / b.

Donde:

a = es el número de ramales o sectores de cable

b = es el número de poleas disponibles

Un ejemplo de los aparejados disponibles en la gran mayoría de puentes grúa se puede ver en la Figura siguiente:

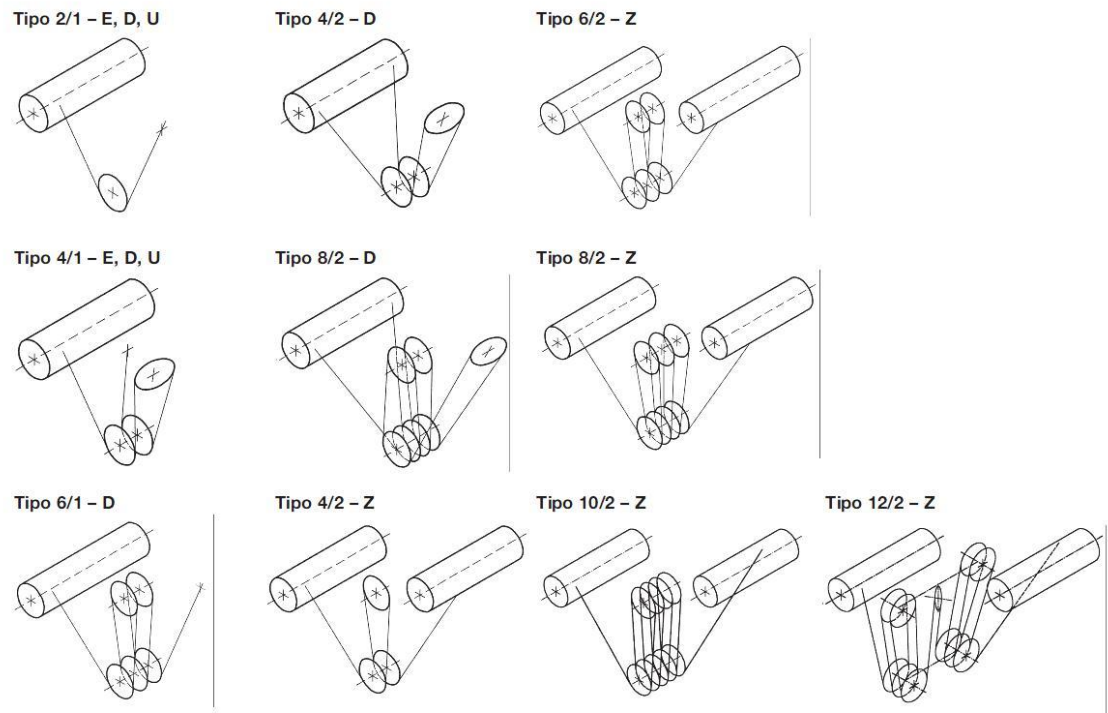


Figura 3.3 Distintos tipos de ramales (15)

En nuestro caso hemos elegido el modelo 4/1 ya que es el que monta el fabricante para el tipo de grúa y para la carga que queremos levantar.

Tipo 4/1 - E, D, U

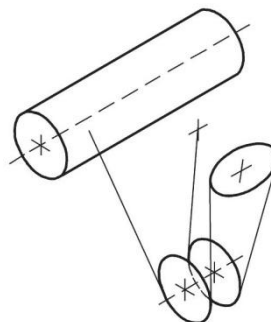


Figura 3.4 Ramal 4/1 (15)

La elección del modelo se debe principalmente a que sus características son las buscadas. La elección de esta marca ha sido promovida por las buenas críticas tanto en aspectos de durabilidad como de fiabilidad en esta gama de productos.

1.7. Peso propio de la estructura principal

Al desconocer en un primer momento el perfil que se va a utilizar en la construcción del puente grúa, y por tanto el peso total de la viga que conforma la estructura del puente, se ha realizado la hipótesis de tomar un perfil de ejemplo para los cálculos preliminares. Para ello he recurrido al prontuario de perfiles de ENSIDESA (3) y se ha elegido el perfil “dos perfiles IPN con dos platabandas soldadas con distintas separaciones entre ejes” optando por el perfil de mayores dimensiones y por tanto mayor peso. De esta forma nos encontramos en todo momento en el lado de la seguridad.

- Peso propio de las vigas testeras

Al igual que en el caso de la viga principal, en este momento del proyecto es imposible conocer perfil que se va a utilizar en la construcción de las vigas testeras. Para continuar con el estudio se ha realizado la hipótesis de tomar un perfil de ejemplo para los cálculos preliminares. Para ello he recurrido al prontuario de perfiles de ENSIDESA (3) y se ha elegido el perfil “Cuadrado” optando por el perfil de mayores dimensiones y por tanto mayor peso. De esta forma nos encontramos en todo momento en el lado de la seguridad.

- Carga total

Como se puede observar en la tabla siguiente, se ha resumido el peso de los distintos elementos por separado y el peso total del conjunto:

Carga nominal	Carro	Puente	Total	Viga testera
5 tn	1,5 tn	7.5 tn	14tn	1,53tn

Tabla 3.7 acciones totales sobre la viga (16)

La hipótesis de unificación de carga en una carga puntual y concentrada se profundizará en el apartado dedicado a las solicitaciones. En este momento se considera que esto es así.

El peso del motor de elevación de carga, del de traslación del carro móvil y sus respectivos reductores se encuentran incluidos en la carga del carro móvil.

El peso de los motores de traslación del puente no se estudiará directamente ya que al estar encima de las ruedas de los testers y no poseer un peso significativo, en comparación con otras cargas, se puede despreciar sus efectos en las vigas.

En cambio, será vital calcular los efectos de las sobrecargas sobre las ruedas de traslación del puente.

2. CLASIFICACIÓN DE LA ESTRUCTURA PRINCIPAL

La resistencia de los puentes grúa no es función exclusiva de las características geométricas y de la carga nominal y peso propio, sino que también depende de las condiciones de utilización y del espectro de sus estados de carga. A fin de poder estudiar correctamente el comportamiento del puente grúa se establece la clasificación según los criterios del prontuario de ENSIDESA (3) y de la normativa vigente UNE 58112-1:1991 y UNE 58112-5:1991 (4).

2.1. Clase de utilización

La clase de utilización es una clasificación muy importante en la que se toma como principal variable el número de ciclos de maniobra a lo largo de la vida útil del aparato. El número total de ciclos de maniobra es la suma de todos los ciclos de maniobra efectuados durante la vida especificada del aparato de elevación entendiéndose como ciclo de maniobra: el lapso de tiempo que se sucede entre manutención de una carga y el momento en el que la maquinaria se encuentra preparada para izar la siguiente.

Clase de utilización	Número máximo de ciclos de maniobra	Observaciones
U_0	$1,6 \times 10^4$	Utilización ocasional
U_1	$3,2 \times 10^4$	
U_2	$6,3 \times 10^4$	
U_3	$1,25 \times 10^5$	
U_4	$2,5 \times 10^5$	Utilización regular en servicio ligero

U_5	5×10^5	Utilización regular en servicio intermitente
U_6	1×10^6	Utilización regular en servicio intensivo
U_7	2×10^6	Utilización intensiva
U_8	4×10^6	
U_9	Más de 4×10^6	

Tabla 3.8 Clase de utilización del aparato (4)

Para calcular el número de ciclos de maniobra del puente grúa durante su vida útil recurriremos a una sencilla fórmula:

$$\text{Ciclos totales} = V_{\text{útil}} \cdot D \cdot H \cdot C_h$$

Dónde:

$V_{\text{útil}}$ = Vida útil del puente grúa = 10 años

D = Días de utilización al año = 225 días

H = Horas de utilización al día = 4 horas

C_h = Ciclos de maniobra por hora = 5 ciclos / hora

$$\text{Ciclos totales} = 10 \cdot 225 \cdot 4 \cdot 5 = 45000 = 4.5 \times 10^5$$

Por lo que establecemos las condiciones de utilización como U_4 o “utilización regular en servicio ligero”.

2.2. Estado de carga

EL estado de carga es un parámetro fundamental en la vida de la estructura. Consisten en determinar Se determinan en función de los ciclos de maniobra y la carga que transporte en servicio de un orden de magnitud determinado relacionado con la capacidad del aparato. Esto queda reflejado en el siguiente cuadro:

— —

Dónde:

C_i = representa el número medio de ciclos de maniobra para cada nivel de carga distinto.

C_T = es el total de los ciclos de carga individuales para todos los niveles de carga.

P_i = representa las magnitudes individuales de las cargas (nivel de carga) características del servicio del aparato.

P_{\max} = es la carga mayor que el aparato está autorizado a levantar (carga útil).

$m = 3$

Estado de carga	Coefficiente nominal del espectro de cargas K_p	Definición
Q_1 – Ligero	0.125	Aparato que levanta raramente la carga máxima de servicio y corrientemente cargas muy pequeñas
Q_2 – Moderado	0.25	Aparato que levanta con bastante frecuencia la carga máxima de servicio y corrientemente cargas pequeñas
Q_3 – Pesado	0.50	Aparato que levanta con bastante frecuencia la carga máxima de servicio y corrientemente cargas medianas
Q_4 –Muy Pesado	1.00	Aparato que corrientemente maneja cargas próximas a la carga máxima de servicio

Tabla 3.9 Estado de carga del aparato (4)

A continuación se muestran los espectros de carga para los distintos estados de carga:

1. Q_1 – Ligero

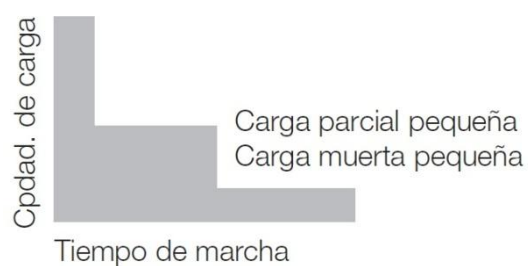


Figura 3.5 Q_1 – Ligero (17)

2. Q_2 – Moderado



Figura 3.6 Q_2 – Moderado (17)

3. Q_3 – Pesado



Figura 3.7 Q_3 – Pesado (17)

4. Q_4 –Muy Pesado



Figura 3.8 Q_4 –Muy Pesado (17)

Para el espectro de carga se ha optado, basándose en proyectos reales, experiencia de proveedores y catálogos, por un punto intermedio entre “ Q_2 –

Moderado” y “Q₃ – Pesado”. Esto nos proporciona un cierto margen frente a imprevistos.

2.3. Grupos de clasificación de aparatos completos

En función de las condiciones de utilización y los estados de carga definidos en los apartados anteriores se clasificarán los puentes grúa en seis grupos definidos según la siguiente tabla:

Estado de carga	Coeficiente nominal del espectro de las cargas K _p	Clases de utilización y número máximo de ciclos de maniobra del aparato									
		U ₀	U ₁	U ₂	U ₃	U ₄	U ₅	U ₆	U ₇	U ₈	U ₉
Q ₁ – Ligero	0,125	A1	A1	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Q ₂ – Moderado	0,25	A1	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A8
Q ₃ – Pesado	0,50	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A8	A8
Q ₄ –Muy Pesado	1,00	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A8	A8	A8

Tabla 3.10 Grupos de clasificación del aparato (4)

Si recopilamos y aplicamos las hipótesis que hemos ido realizando a lo largo del apartado, llegamos a un conjunto de valores de clasificación de la estructura total que en la tabla anterior hemos resaltado mediante negrita.

A pesar de que, para mantener ciertos niveles (en este caso bastante holgados) de seguridad se ha decidido aplicar las hipótesis más restrictivas debido a la falta de datos sobre el tipo de carga, su peso y la frecuencia de su manutención.

Podemos concluir por tanto que la estructura posee una clasificación del tipo A5.

3. CLASIFICACIÓN DE LOS MECANISMOS

Anteriormente hemos clasificado la grúa como un conjunto sin incidir en sus sistemas mecánicos. En este caso realizaremos una clasificación enfocada en los mecanismos y su vida útil. Al igual la estructura principal, los mecanismos se clasificarán según la normativa UNE 58112-1:1991 y UNE 58112-5:1991 (4).

3.1. Clase de utilización

La clasificación de los mecanismos se determina, al igual que en apartado anterior, en función de su utilización a lo largo de la vida de servicio del elemento en cuestión. En este caso la variable principal es la duración total del servicio en horas, entendiéndose como duración deservicio el lapso de tiempo que se sucede entre la solicitud de uno de los mecanismos y su parada siendo independiente del número de ciclos en el que se realice.

Clase de utilización	Duración total de servicio (horas)	Observaciones
T_0	200	Utilización ocasional
T_1	400	
T_2	800	
T_3	1600	
T_4	3200	Utilización regular en servicio ligero
T_5	6300	Utilización regular en servicio intermitente

T_6	12000	Utilización regular en servicio intensivo
T_7	25000	Utilización intensiva
T_8	50000	
T_9	100000	

Tabla 3.11 Clases de utilización de los mecanismos (4)

Cabe destacar que las duraciones totales de servicio que figuran en la tabla deben interpretarse como valores teóricos convenciones que sirven como base para el diseño y cálculo de los elementos de los mecanismos cuya duración de servicio constituye el criterio de selección. En ningún caso deben considerarse como garantías.

Este apartado supone una dificultad añadida ya que se debe de conocer no solo el número de ciclos que va a desempeñar la estructura sino también que tipos de movimientos se van a realizar en dichos ciclos de manutención.

Para solucionar este problema se plantea la hipótesis de dividir en partes iguales la utilización por ciclo de cada mecanismo, esto es asignar un 33% del tiempo total del ciclo a cada mecanismo.

Partiendo de los cálculos realizados en el apartado anterior:

$$\text{Horas de servicio} = V_{\text{útil}} \cdot D \cdot H$$

Dónde:

$V_{\text{útil}}$ = Vida útil del puente grúa = 10 años

D = Días de utilización al año = 225 días

H = Horas de utilización al día = 4 horas

$$\text{Horas de servicio} = 10 \cdot 225 \cdot 4 \cdot 0.33 = 3400$$

Nuestros mecanismos se encuentran muy cerca de T_4 o “*Utilización regular en servicio ligero*” pero para mantener unos niveles aptos de seguridad englobaremos los mecanismos en el T_5 o “*Utilización regular en servicio intermitente*” y posteriormente se elegirá el caso más desfavorable.

3.2. Estado de carga

Las condiciones de carga son un parámetro fundamental en la vida de la estructura. Consisten en determinar Se determinan en función de los ciclos de maniobra y la carga que transporte en servicio de un orden de magnitud determinado relacionado con la capacidad del aparato. Esto queda reflejado en el siguiente cuadro:

— —

Dónde:

t_i = representa el número medio de ciclos de maniobra para cada nivel de carga distinto.

t_T = es el total de los ciclos de carga individuales para todos los niveles de carga.

P_i = representa las magnitudes individuales de las cargas (nivel de carga) características del servicio del aparato.

P_{\max} = es la carga mayor que el aparato está autorizado a levantar (carga útil).

$$m = 3$$

Estado de carga	Coefficiente nominal del espectro de cargas K_p	Definición
L_1 – Ligero	0.125	Mecanismo sometido excepcionalmente a la carga máxima de servicio y normalmente cargas muy pequeñas
L_2 – Moderado	0.25	Mecanismo sometido con bastante frecuencia la carga máxima de servicio y corrientemente cargas pequeñas
L_3 – Pesado	0.50	Mecanismo sometido con bastante frecuencia la carga máxima de servicio y corrientemente cargas medianas
L_4 –Muy Pesado	1.00	Mecanismo sometido corrientemente a la carga máxima de servicio

Tabla 3.12 Estado de carga de los mecanismos (4)

A continuación se muestran los espectros de carga para los distintos estados de carga1:

5. L_1 – Ligero

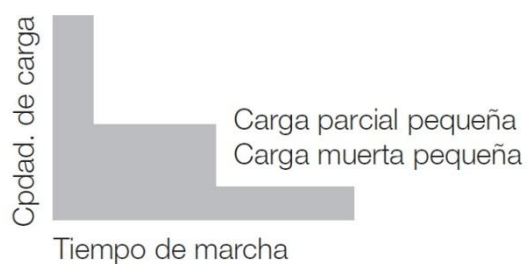


Figura 3.9 L_1 – Ligero (17)

6. L_2 – Moderado



Figura 3.10 L_2 – Moderado (17)

7. L_3 – Pesado



Figura 3.11 L_3 – Pesado (17)

8. L_4 –Muy Pesado



Figura 3.12 L_4 –Muy Pesado (17)

Al igual que en la clasificación total, Para el espectro de carga se ha optado, basándose en las mismas informaciones anteriores, es decir, proyectos reales, experiencia de proveedores y catálogos, por un punto intermedio entre “L₂ – Moderado” y “L₃ – Pesado”. Esto nos proporciona un cierto margen frente a imprevistos.

3.3. Grupos de clasificación de mecanismos completos

En función de las condiciones de utilización y los estados de carga definidos en los apartados anteriores se clasificarán los mecanismos del puente grúa en ocho grupos definidos según la siguiente tabla:

Estado de carga	Coeficiente nominal del espectro de las cargas K_p	Clases de utilización y número máximo de ciclos de maniobra del aparato									
		T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉
L ₁ – Ligero	0,125	M1	M1	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
L ₂ – Moderado	0,25	M1	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M8
L ₃ – Pesado	0,50	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M8	M8
L ₄ – Muy Pesado	1,00	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M8	M8	M8

Tabla 3.13 Grupos de clasificación de los mecanismos (4)

Si recopilamos y aplicamos las hipótesis que hemos ido realizando a lo largo del apartado, llegamos a un conjunto de valores de clasificación de los mecanismos que en la tabla anterior hemos resaltado mediante negrita.

A pesar de que, para mantener ciertos niveles (en este caso bastante holgados) de seguridad se ha decidido aplicar las hipótesis más restrictivas debido a la falta de datos sobre el tipo de carga, su peso y la frecuencia de su manutención.

Podemos concluir por tanto que el mecanismo posee una clasificación del tipo M6.

Tras este apartado podemos concluir finalmente con la clasificación total del aparato tanto a nivel de conjunto como a nivel de mecanismos individuales.

	Estructura	Mecanismo
Condiciones de utilización	U ₄	T ₅
	Utilización regular en servicio ligero	Utilización regular en servicio intermitente
Ciclos / horas de funcionamiento	2,5 x 10 ⁵	6300
Estado de carga	Q ₃ – Pesado	L ₃ – Pesado
Coeficiente	0,50	0,50
Grupo de clasificación	A5	M6

Tabla 3.14 Resumen de clasificación

A modo de comprobación podemos recurrir a la tabla incluida en la norma 58112-5:91 (4). En esta tabla se clasifican los puentes grúa en función de la labor que vayan a desarrollar y del emplazamiento que ocupen.

Nº	Tipo de aparato	Condiciones de utilización	Grupo de clasificación del aparato en su conjunto	Grupo de clasificación del mecanismo en su conjunto		
				Elevación	Traslación del carro	Traslación
1	Aparato accionado manualmente	-	AI	M1	M1	M1



2	Aparato de montaje y desmontaje	-	A1	M2	M1	M2
3a)	Aparato de control	-	A1	M2	M1	M3
3b)	Aparato de mantenimiento	-	A1	M3	M1	M2
4	Aparato de taller	Utilización regular en servicio ligero	A2	M3	M2	M3
	Aparato de taller	Utilización regular en servicio intermitente	A3	M1	M3	M4
	Aparato de taller	Utilización intensiva	A4	M5	M3	M5
5	Aparato de almacén	Utilización regular en servicio ligero	A3	M3	M2	M4
	Aparato de almacén	Utilización intensiva / Cuchara o electroimán	A6	M6	M5	M6

Tabla 3.15 Comparativa (4)

Como se puede comprobar, si buscamos los valores para Aparato de taller con una condición de utilización general de servicio intermitente, se puede observar nuestra clasificación mantiene unos niveles de seguridad incluso mayores a los de la



norma. De hecho nuestros valores se corresponden con el valor límite de la condición de utilización, es decir utilización intensiva.

CAPÍTULO IV

ESTUDIO DE LAS SOLICITACIONES CASOS DE ESTUSIO.

IV. ESTUDIO E LAS SOLICITACIONES. CASOS DE ESTUDIO

A lo largo de este capítulo se presentarán todas las solicitaciones a las que están sometidos las distintas partes de la estructura así como los casos hipotéticos que se estudiarán con el fin de determinar la viabilidad de la estructura. Dichas solicitaciones son las recomendadas según la normativa UNE serie 58 (4) y el prontuario de ENSIDESA (3).

1. Solicitaciones a considerar en el cálculo de las estructuras

En este apartado procedemos a calcular las solicitaciones a las que está expuesta la estructura y que mediante el cálculo de las estructuras se determinan las tensiones producidas en el aparato durante su funcionamiento. Para la realización de este cálculo, se deben considerar las solicitaciones siguientes:

- a) Las solicitaciones principales actuando sobre la estructura del aparato supuesto inmóvil, en el estado de carga más desfavorable.
- b) Las solicitaciones debidas a los movimientos verticales.
- c) Las solicitaciones debidas a los movimientos horizontales.
- d) Las solicitaciones debidas a los efectos climáticos.

A continuación se examinarán las diversas solicitaciones, los coeficientes de mayoración a adoptar y se mostrará el método práctico de llevar a cabo los cálculos.

1.1. Solicitaciones principales.

Las solicitaciones principales comprenden:

- Las solicitaciones debidas a los pesos propios de los elementos SG.
- Las solicitaciones debidas a la carga de servicio: SL.

Cada elemento de estructura se ha calculado para la posición del aparato y el valor de la carga elevada (comprendida entre cero y la carga de servicio) que dé lugar en el elemento considerado a las tensiones máximas, es decir, Los elementos móviles se suponen en la posición más desfavorable para la estructura principal y todos los elementos que la conforman.

Se debe destacar que en principio y salvo que se diga lo contrario, ningún esfuerzo interno de ningún elemento será despreciado. El motivo de esta decisión radica en la importancia no solo del esfuerzo en sí, sino de la interacción de esfuerzos que pueda existir.

Se podrán despreciar los axiles y cortantes única y exclusivamente, y siempre de forma justificada, en los casos en los que los axiles o los cortantes sean relativamente pequeños frente a otros esfuerzos similares (respecto a otros cortantes o axiles que sufra el mismo elemento) o extremadamente pequeños en valor absoluto.

Antes de proceder al cálculo de los esfuerzos internos, se deben de tomar ciertas hipótesis para garantizar que el equilibrio de la estructura no esté comprometido:

- El carro de servicio se encuentra equilibrado en todo momento por un contrapeso. A su vez se encuentra centrado respecto al eje transversal de la viga lo que provoca en la viga del puente un efecto de flexión pura.

- Durante las maniobras verticales de la carga, esta se manejará de tal forma que no oscile ni forma ángulo con la vertical lo que provoca en la viga del puente una flexión pura.

Todo esto nos permite llegar a 2 posiciones de la carga desfavorables:

1.1.1. Disposición más desfavorable para la viga principal.

El caso más desfavorable para la viga es aquel en el cual es la propia viga la que sufre las mayores tensiones.

El caso más desfavorable se corresponde con el estado isostático de la viga, simplemente apoyada en un extremo y apoyada con deslizamiento en el contrario y en la que las sobrecargas se encuentran aplicadas en su punto medio.



Figura 4.1 Viga apoyada (3)

En el punto anterior se realizó la hipótesis para garantizar la seguridad estructural de considerar la totalidad de la carga (entendiéndose como carga total carga de servicio y peso total de la viga) concentrado en un punto. Como se demostrará a continuación, esto genera el mayor momento posible en la sección.

Para demostrar la veracidad de la hipótesis, se presentan 3 casos en los que se van a calcular los esfuerzos máximos:

- Carga distribuida (peso propio + carga de servicio)
- Carga distribuida (peso propio) y carga puntual (carga de servicio)

- Carga puntual concentrada en el punto medio (peso propio + carga de servicio).

Para calcular los esfuerzos internos vamos a aplicar la siguiente fórmula:

Donde:

L = luz del puente grúa

P = carga estudiada

M_f = momento flector de la sección

1.1.1.1. Carga distribuida aplicada

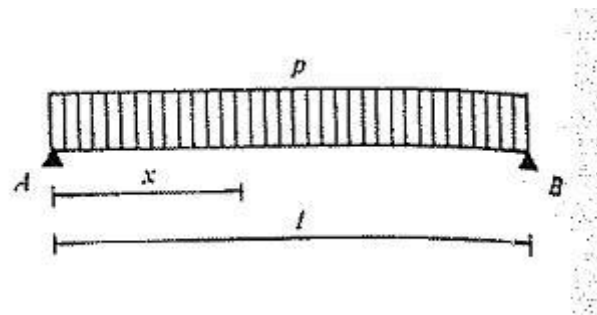


Figura 4.2 Carga distribuida (3)

Siendo su distribución de momentos flectores la siguiente:

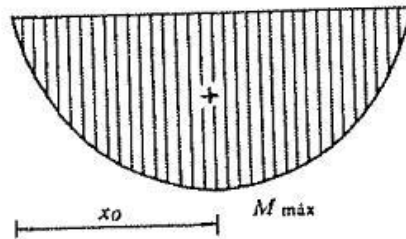


Figura 4.3 Momento flector carga distribuida (3)

1.1.1.2. Carga distribuida junto con carga puntual

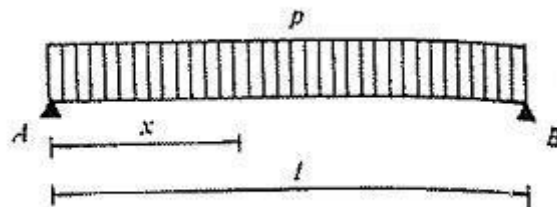


Figura 4.4Carga distribuida y carga puntual (3)

Siendo su distribución de momentos flectores la siguiente:

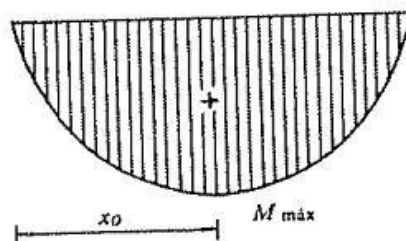


Figura 4.5 Momento carga distribuida y carga puntual (3)

En este caso se ha considerado una combinación de sobrecargas. La carga distribuida procederá del peso de la viga y la carga puntual de la carga de servicio en la situación más desfavorable.

1.1.1.3. Carga puntual aplicada en el centro de la viga

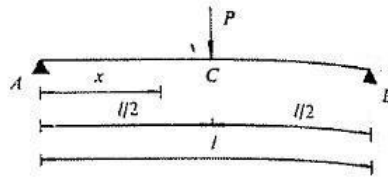
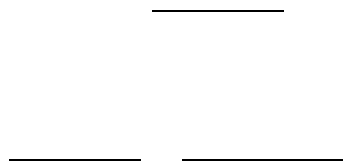


Figura 4.6 Carga puntual (3)

Realizando unos sencillos cálculos se puede obtener que el punto donde la sección sufre más esfuerzos sea la zona central. Su valor es el siguiente:



Siendo su distribución de momentos flectores la siguiente:

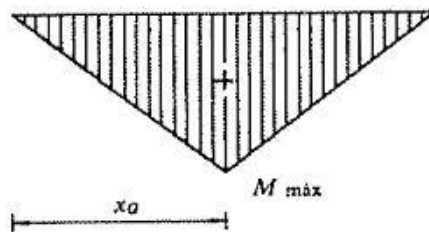


Figura 4.7 Momento Carga puntual (3)

Se puede comprobar numéricamente que la tensión de la fibra más alejada del centro de gravedad de la sección sufre unos mayores esfuerzos en el caso de una carga concentrada en su punto medio que en cualquiera de los valores tomados.

Por motivos de montaje, la viga principal debe de ser recortada en altura para poder ser montada mediante una unión atornillada a la viga testera. La reducción se produce exclusivamente en altura y de forma gradual.

Este recorte se ha estudiado en profundidad en el apartado correspondiente por lo que en este apartado tan solo se estudiará los esfuerzos a los que está sometida.

Si tomamos como punto de referencia el extremo más cargado en el caso de los testers, podemos definir las distintas distancias de estudio:

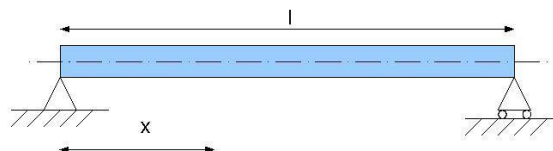


Figura 4.8 Estudio recorte (4)

- 1) 1,5m para el perfil estándar o mayor
- 2) 0,75m para el perfil medio
- 3) 0m para el perfil de la unión o menor

La distribución de la altura se realiza de forma lineal entre los puntos de estudio, siendo el incremento una recta de pendiente constante.

A continuación van a elaborar los cálculos de esta zona. Para estudiar cada sección realizaremos cortes a cada distancia de estudio y se calculará equilibrio de momentos en cada una de ellas.

Aplicando los conocimientos de mecánica de estructura, comenzamos con el equilibrio de momentos:

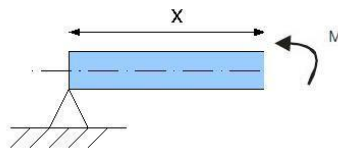


Figura 4.9 Recorte viga (3)

Si despejamos obtenemos:

Si sustituimos las distintas distancias que vamos a estudiar, obtenemos los valores del momento flector en esos puntos:

Distancia (m)	Momento flector (N·m)
1,5	105000
0,75	52500
0	0

Tabla 4.1 Momentos en el recorte

Esta fórmula nos permite conocer el momento flector en cada punto de la viga en función a la distancia al apoyo.

El estudio del cortante se hace indispensable para poder evaluar la resistencia de las almas a los esfuerzos tangenciales. También es extremadamente importante a la hora de calcular la resistencia a cortante de la unión atornillada.

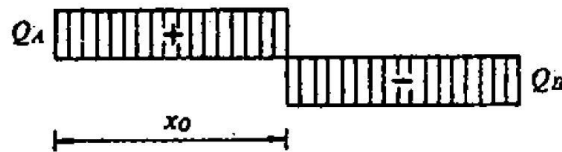
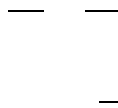


Figura 4.10 Esfuerzo cortante carga puntual (3)

Para su estudio bastará con aplicar unos sencillos cálculos:



Si sustituimos los valores obtenemos:

Este valor es independiente de la distancia, por lo tanto, es el mismo para todas las secciones.

Todos estos cálculos se reservarán para posibles futuros usos a lo largo del proyecto.

1.1.2. Disposición desfavorable para los testeros.

Esta se produce cuando la carga se encuentra lo más próxima posible a uno de los testeros lo que provoca que los testeros tengan que soportar mayor carga.



Figura 4.11 Viga apoyada (3)

Esto provoca que el lado más cercano al punto de aplicación de la carga soporte mayores esfuerzos.

En primer lugar se calculará los efectos de la carga excéntrica sobre la viga principal y posteriormente se trasladarán los efectos resultantes a las vigas testeras.

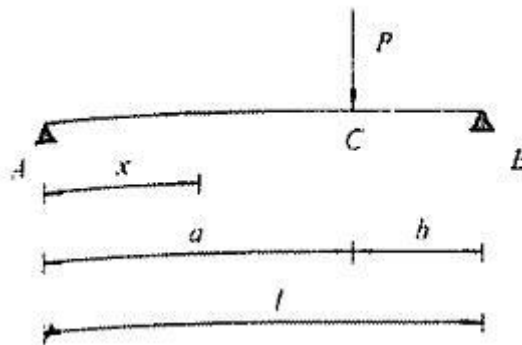


Figura 4.12 Carga puntual excéntrica (3)

Al igual que en el caso anterior, se ha realizado la hipótesis de concentrar la totalidad de la carga en un único punto de aplicación.

Por limitaciones geométricas expuestas en el primer apartado, la distancia máxima a la que puede situarse la carga respecto a los testeros es de 1,5m para ambos apoyos.

El diagrama de momentos flectores sobre la viga principal es el siguiente:

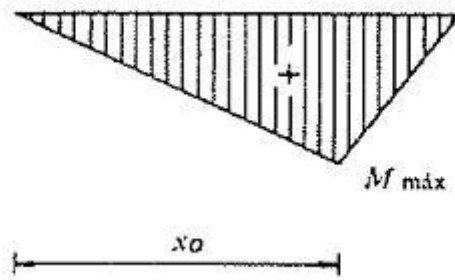


Figura 4.13 Momento flector Carga puntual excéntrica (3)

Realizando un estudio de los esfuerzos de la viga principal, llegamos la conclusión que:

—

—

Donde:

P = carga puntual total

L = luz de la viga

V_A = reacción más cercana al punto de aplicación

V_B = reacción más alejada del punto de aplicación

z = distancia entre la reacción más cercana y el punto de aplicación, es decir, $L -$

x_0

En nuestro caso, si sustituimos valores, obtenemos:

- a. Reacción más cercana a la carga

—

b. Reacción más alejada de la carga

—

Esta serán las cargas que tendrán que soportar las vigas testeras. Si recurrimos a los cálculos del apartado anterior, podemos obtener los esfuerzos a los que estará sometido el testero que soporte la mayor reacción. El otro testero se puede despreciar al ser muy inferiores las sobrecargas que soporta.

A su vez se trata de los esfuerzos que debe soportar la viga principal y que por tanto se deberá estudiar su efecto sobre la estructura. Según las reacciones y la carga aplicada sobre la viga principal, se obtiene la distribución de esfuerzos cortantes la mostrada a continuación:

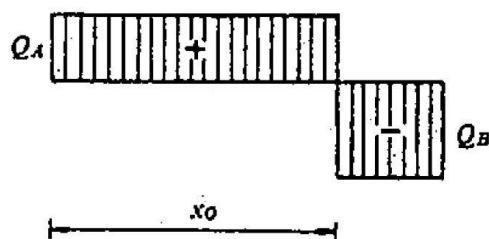


Figura 4.14 Cortante Carga puntual excéntrica (3)

Para hallar su valor aplicaremos las fórmulas descritas a continuación:

Se debe recordar que al igual que para el cálculo de los momentos flectores, en este caso se ha calculado exclusivamente los efectos del caso más desfavorable.

Si sustituimos los valores obtenemos:

Como se puede comprobar, este cortante es motivo de estudio para la viga principal ya que es bastante mayor al estudiado en el caso más desfavorable para la viga principal.

A continuación se estudiará el efecto de esta carga y del peso de la viga testera sobre ella misma.

Se ha considerado que el peso total de la viga testera es el de la mayor existente en el prontuario de ENSIDESA (3) y que se encuentra concentrado en el punto de mayor sobrecarga. Se le ha otorgado un peso total de 1530Kg o 15000N / 15KN.

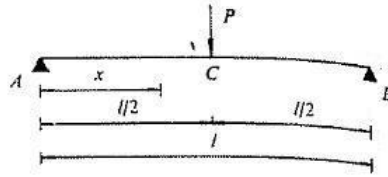


Figura 4.15 Carga puntual (3)

Volviendo al caso de carga puntual aplicada en el medio del vano de una viga, planteamos la siguiente ecuación:

Donde si sustituimos los valores:

Obtenemos:

Siendo su distribución de momentos flectores la siguiente:

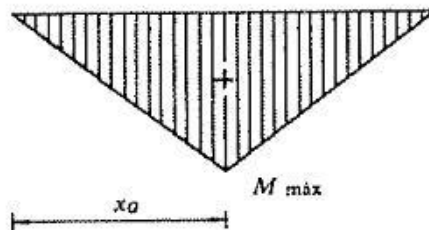


Figura 4.16 Momento flector Carga puntual (3)

Este es el momento flector mayor que debe soportar la viga testera en el caso más desfavorable, para que la estructura sea viable.

Al igual que en el caso de la estructura principal, es necesario calcular el valor de los esfuerzos cortantes para poder estudiar los efectos de los esfuerzos tangenciales en el perfil de la viga testera.

La distribución de esfuerzos cortantes es la siguiente:

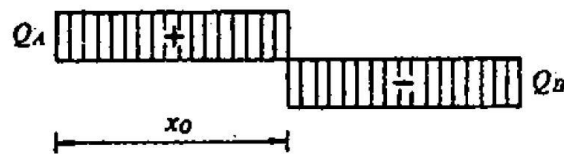


Figura 4.17 Cortante Carga puntual (3)

Para su estudio bastará con aplicar unos sencillos cálculos:

$$\begin{aligned} & \text{---} \quad \text{---} \\ & \quad \quad \text{---} \end{aligned}$$

Si sustituimos los valores obtenemos:

1.1.3. Disposición más desfavorable para la unión viga principal-testero.

Para el estudio de los efectos en la unión viga principal-testero. No se puede elegir a priori un único caso más desfavorable sino que se deben estudiar las 2 configuraciones posibles y elegir la más desfavorable.

El estudio de 2 posibles casos más desfavorables se debe a que dependiendo de la situación que elijamos, obtenemos un esfuerzo flector grande o un esfuerzo cortante grande y en un principio no se puede saber cuál será el más significativo.

Como modelo teórico para la representación de la unión se ha elegido el empotramiento. Esto es debido a la necesidad de transmitir la totalidad de los esfuerzos siendo el empotramiento el único capaz de hacerlo.

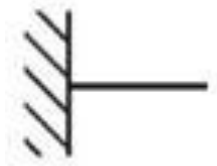


Figura 4.18 Empotramiento (3)

Tal y como se ha ido realizando hasta ahora, se postulado la hipótesis estructural de considerar la totalidad de la carga (carga total carga de servicio y peso total de la viga) concentrado en un punto con el fin para garantizar la seguridad.

A continuación se estudiarán ambos casos:

- I. Carga puntual aplicada en el punto medio.
- II. Carga puntual aplicada con la excentricidad máxima permitida.

Las 2 opciones coinciden con los casos más desfavorables para la viga principal y para las vigas testeras respectivamente.

1.1.3.1. Carga puntual aplicada en el punto medio.

En este caso desfavorable los mayores efectos van a producirse por motivo del momento flector. Esto se debe a que va a ser el punto en el que más alejada esté la carga y por tanto va a ser el máximo valor del momento flector que va a soportar la

unión. Sin embargo existe una pequeña diferencia con el resto de apartados, en el estudio de estos casos se considerará que cada unión debe soportar los efectos de la mitad de la carga en lugar de la totalidad de la carga.

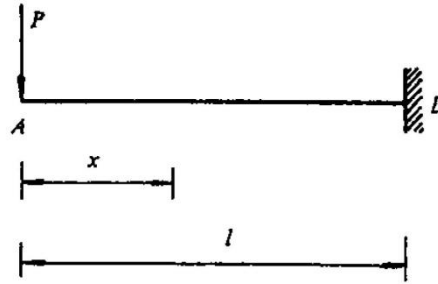


Figura 4.19 Carga puntual Empotramiento (3)

Aplicando el equilibrio en el empotramiento:

Si despejamos obtenemos:

Donde:

P = carga aplicada (la mitad de la carga total)

L = distancia desde el punto de aplicación al empotramiento (mitad de la luz)

Donde sí se sustituye los valores se obtiene:

Obteniéndose el siguiente diagrama de momentos flectores:



Figura 4.20 Momento flector Carga puntual Empotramiento (3)

A pesar de no ser el caso más desfavorable, en cuanto a los esfuerzos cortantes, necesario calcular su valor para poder cerciorarnos de ellos.

Para obtener el valor se emplean las siguientes ecuaciones:

—

Si sustituimos los valores obtenemos:

La distribución de esfuerzos cortantes es la siguiente:



Figura 4.21 Cortante carga puntual empotramiento (3)

1.1.3.2. Carga puntual aplicada con la excentricidad máxima permitida.

A diferencia del caso anterior, en este caso los mayores efectos van a producirse por motivo de los esfuerzos cortantes. Este caso se estudio se corresponde

con la colocación del carro principal lo más cerca posible de uno de los apoyos. Esta disposición más cercana de la carga va a ocasionar el máximo valor del cortante que va a soportar la unión.

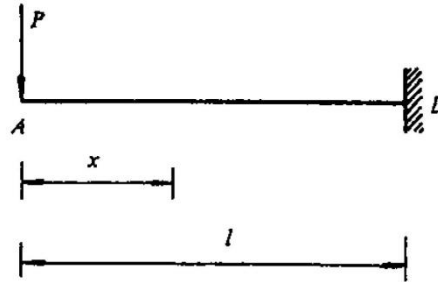


Figura 4.22 Carga puntual Empotramiento (3)

En este caso la disposición de la carga más cercana al apoyo garantiza unos mayores esfuerzos cortantes en esta unión. Es obvio que el estudio de la otra unión se desprecia por motivo de poseer una menor carga que soportar.

Y para obtener el valor se emplean las siguientes ecuaciones:

Si sustituimos los valores obtenemos:

La distribución de esfuerzos cortantes es la siguiente:



Figura 4.23 Cortante carga puntual empotramiento (3)

Si se aplica el equilibrio en el empotramiento se obtiene que:

Si despejamos obtenemos:

Donde:

P = carga aplicada (mayor reacción)

L = distancia desde el punto de aplicación al empotramiento (mayor excentricidad permitida)

Donde sí se sustituye los valores se obtiene:

Obteniéndose el siguiente diagrama de momentos flectores:



Figura 4.24 Momento flector Carga puntual Empotramiento (3)

Como se puede observar tras los cálculos, en el caso de la aplicación puntual de la totalidad de la carga y siendo su distancia, los efectos son muchos mayores al otro

caso expuesto. Por esta razón este caso será el principal objeto de cálculo despreciándose el otro por motivos obvios.

1.2. Solicitaciones debidas a los movimientos verticales.

Estas solicitaciones provienen del levantamiento más o menos brusco de la carga de servicio, de las aceleraciones (o deceleraciones) en el movimiento de elevación y de los choques verticales debidos a la rodadura sobre las vías.

1.2.1. Solicitaciones debidas a la elevación de la carga de servicio.

En este apartado se valoran las oscilaciones provocadas por la elevación de la carga, multiplicando las solicitaciones debidas a la carga de servicio por un factor llamado "coeficiente dinámico Ψ ".

Según el prontuario de ENSIDESA (3), el valor coeficiente dinámico Ψ a aplicar en las solicitaciones debidas a la carga de servicio viene dada por la expresión:

Donde

V_L es la velocidad de elevación en m/s

ξ un coeficiente experimental, resultando de numerosas mediciones efectuadas en diferentes tipos de aparatos.

Dicha expresión solo es válida dentro de un rango comprendido entre el punto mínimo y el punto máximo de cada gráfica, estando determinado por la recta oblicua. Fuera de ese rango los valores se mantienen constantes.

Se toma:

$\xi = 0,6$ para las grúas puente y pórtico.

$\xi = 0,3$ para las grúas de pluma.

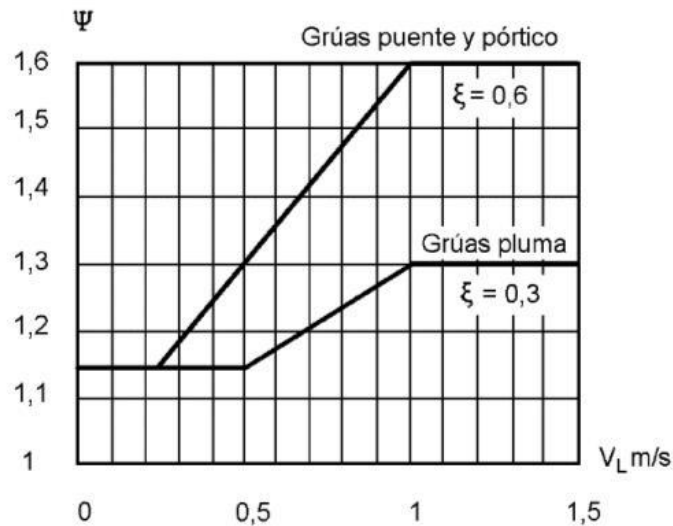


Figura 4.25 Valores de Ψ en función de V_L (3)

En la Figura se puede observar la gráfica de la que se extrae el valor de Ψ en función de los distintos valores de V_L . Como se puede observar en la gráfica el coeficiente Ψ indicado, es diferente según se trate de grúas puente y pórtico o de grúas pluma, es decir, en función del valor de ξ .

El valor máximo de la velocidad de elevación a considerar para poder aplicar esta fórmula es de 1 m/s. Para velocidades superiores, el coeficiente dinámico permanece constante e igual a su valor máximo.

Por motivos de seguridad el valor del coeficiente Ψ aplicar en los cálculos no puede ser inferior a 1,15.

El coeficiente dinámico Ψ es, a igualdad de los demás factores, menor, cuando la fuerza de elevación actúa sobre un elemento de la estructura que presenta una cierta flexibilidad, como en el caso de las grúas de pluma, elemento éste que es siempre como rígido.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede ampliar la aplicación del coeficiente Ψ determinado para las grúas de pluma a otros aparatos, como por ejemplo, los pórticos con parte en voladizo, para los casos de cálculo correspondientes a la carga actuando sobre el voladizo, y se debe aplicar el valor Ψ previsto para las grúas puente, a aquellos casos de cálculo en que la carga se aplica entre las patas del aparato, cuya rigidez en esta parte puede ser comparable a la de una viga de grúa puente.

En nuestro caso:

Si se sustituye el valor de ξ correspondiente a los puentes grúa y el valor de V_L en m/s se obtiene:

1.2.2. Solicitaciones debidas a las aceleraciones (o deceleraciones) de los movimientos de elevación y a los choques verticales debidos a la rodadura sobre las vías.

El coeficiente Ψ tiene en cuenta la elevación más o menos brusca de la carga de servicio, que constituye el choque más importante. Las solicitaciones debidas a las aceleraciones (o deceleraciones), del movimiento de elevación se desprecian, así como las reacciones verticales debidas a la rodadura sobre las vías correctamente montadas.

Para poder aplicar todos estos supuestos, se parte de la hipótesis de que las uniones de los raíles, están en buen estado. Los inconvenientes presentados por un mal estado del camino de rodadura son tan sensibles sobre tanto los aparatos de

elevación como para la estructura como para los mecanismos, que hacen necesario fijar en principio que las juntas de los carriles deban mantenerse en buen estado al no estar considerado ningún coeficiente de choque que tenga en cuenta los deterioros producidos por las juntas defectuosas.

Se ha demostrado que, en nuestro caso y para todos aquellos aparatos rápidos, la mejor solución para los es la de soldar a tope los carriles de rodadura a fin de suprimir completamente los choques debidos al paso sobre las juntas.

Aplicando el factor de mayoración a las solicitaciones principales (carga de servicio + pesos propios) para cada caso de estudio obtenemos:

1.2.2.1. Disposición más desfavorable para la viga principal.

Tal y como vimos en el apartado referido a la estructura principal, el mayor momento flector que soporta la viga es:

Si sustituimos por los valores que correspondan y aplicamos el factor de mayoración a la totalidad de la carga:

Obtenemos lo siguiente:

Este es el mayor esfuerzo flector que sufre la estructura principal.

En el caso de la zona recortada, al igual que en los otros casos, simplemente se aplica el factor de mayoración a la carga y se calcula el valor del momento flector en esa sección. Los resultados son los siguientes:

Distancia (m)	Momento flector (N·m)
1,5	11550
0,75	57750
0	0

Tabla 4.2 Momentos en el recorte ponderados

Si se aplica el factor al estudio de los cortantes se obtiene:

— —
——

1.2.2.2. Disposición desfavorable para los testeros.

En este caso aplicaremos exclusivamente el factor de mayoración a la reacción más cercana a la posición extrema de la carga, ya que será esta sobrecarga el objetivo del estudio al ser la mayor de las 2 reacciones

—

Siguiendo con el estudio, a continuación estudiaremos el momento flector máximo para esta carga. Como se ha expuesto antes:

———

Donde sí sustituimos los valores:

Obtenemos:

Si se aplica el factor al estudio de los cortantes se obtiene:

Aplicando el factor de mayoración a los valores para el cálculo de los esfuerzos cortantes para la viga principal, obtenemos lo siguiente:

1.2.2.3. Disposición más desfavorable para la unión viga principal-testero.

El estudio de este apartado es complejo. Para cumplir con unos mínimos de seguridad se ha elegido los casos más desfavorables para ambos esfuerzos:

- Carga puntual aplicada en el centro de la viga principal para el momento flector.
- Carga puntual aplicada cerca del apoyo para el esfuerzo cortante.

Tal y como vimos en el apartado anterior correspondiente a la unión, el mayor momento flector que soporta la viga es:

Donde sí se sustituye los valores se obtiene:

Aplicándose el factor de mayoración al estudio de los esfuerzos cortantes se obtiene:

Si sustituimos los valores obtenemos:

1.3. Solicitaciones debidas a los movimientos horizontales

En el capítulo subsiguiente se realizará el estudio de los efectos producidos por los movimientos horizontales en las direcciones longitudinales y transversales.

Tal y como se especificó en la introducción, se utilizará la notación longitudinal para hacer referencia a la dirección paralela a la longitud de la nave, y transversal para siendo perpendicular a la primera.

1.3.1. Reacciones horizontales longitudinales

1.3.1.1. Reacciones debidas al movimiento del puente

La aceleración o deceleración del movimiento de traslación del puente conduce a la aparición de reacciones longitudinales derivadas de la inercia de la estructura y que se encuentran aplicadas en los centros de gravedad de cada una de las piezas. Estas fuerzas horizontales, que provocan diversos esfuerzos en todos los elementos, se calcularán en función de la aceleración o deceleración máximas que se produzcan en servicio normal.

Las aceleraciones, anteriormente definidas son $0,25 \text{ m/s}^2$ para el puente en ambos sentidos.

Es importante resaltar antes de comenzar el estudio, que dentro de este apartado se deben diferenciar 2 casos claramente diferentes:

I. Movimiento del puente con la carga centrada

Consiste en el movimiento hacia delante o hacia atrás del puente sobre los raíles, estando la carga, y por tanto el carro, perfectamente centrada respecto a la longitud de la viga principal.

Sus efectos se limitan a una fuerza de inercia que se puede considerar aplicada en el centro de gravedad del conjunto. Esta creará un esfuerzo cortante a lo largo de la viga y a su vez momentos flectores en las uniones

Los efectos de la inercia del puente pueden ser calculados a partir de la 1ª y 2ª ley de Newton:

Donde:

a_{puente} = aceleración = 0,25

M_{total} = masa del puente

Si sustituimos los valores dentro de dicha fórmula, se obtiene:

II. Movimiento del puente con la carga descentrada

Este caso de estudio es similar al primero con la excepción de que en este caso el movimiento es hacia delante o hacia atrás del puente sobre los raíles, estando la carga desplazada respecto al centro de gravedad de la viga principal.

A parte de los efectos comentados con anterioridad, cortante y flector originados por una fuerza de inercia, se debe añadir un par de fuerzas sobre las ruedas

más cercanas a la posición de la carga excéntrica (respecto al centro de gravedad de la viga principal).

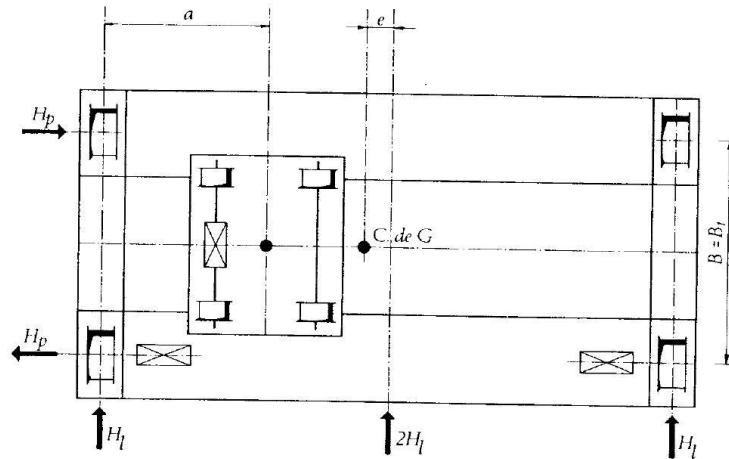


Figura 4.26 Carga descentrada (3)

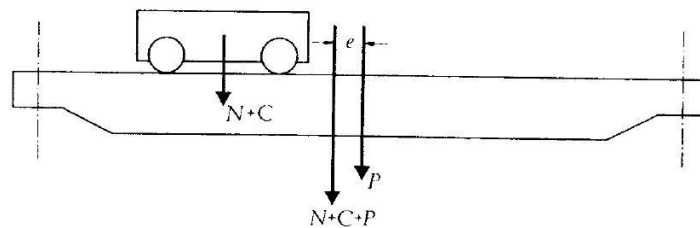


Figura 4.27 Carga descentrada otra vista (3)

Para el cálculo de los efectos de la carga descentrada se ha recurrido al prontuario de ENSIDERA el cual especifica que dichas reacciones horizontales pueden obtener a partir de la ecuación siguiente:

Donde:

e_{\max} = excentricidad de la carga

L = luz de la viga principal

$H_{l\max}$ = reacción máxima

Si se sustituyen los valores en los lugares correspondientes se obtiene:

—
—

Como se puede comprobar, los efectos del movimiento del puente con la carga descentrada son mucho más desfavorables que los efectos del movimiento del puente con la carga centrada, de hecho, el movimiento con la carga descentrada contiene los efectos del otro caso más otros derivados del movimiento no centrado de la carga.

Por este motivo ha decidido despreciar los efectos del primer caso para centrar la atención en el caso más desfavorable, es decir, del puente con la carga descentrada.

1.3.1.1.1. Efectos en la viga principal.

La aplicación de la citada fuerza de inercia a la máxima distancia de excentricidad va a originar esfuerzos desiguales en la estructura.

El primer esfuerzo observable es la aplicación de una fuerza, de valor el valor la fuerza de inercia, en el punto de máxima excentricidad donde se encuentra situado el carro.

Realizando un estudio de los esfuerzos de la viga principal, llegamos la conclusión que:

—

—

Donde sí sustituimos los valores obtenemos:

—

Este último valor se puede despreciar debido a su pequeño valor.

El diagrama de cortantes es el siguiente:

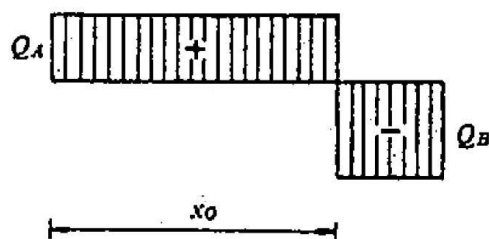


Figura 4.28 Cortante Carga puntual excéntrica (3)

El esfuerzo flector se puede calcular de la siguiente forma:

—

Provocando el siguiente diagrama de momentos flectores sobre la viga principal:

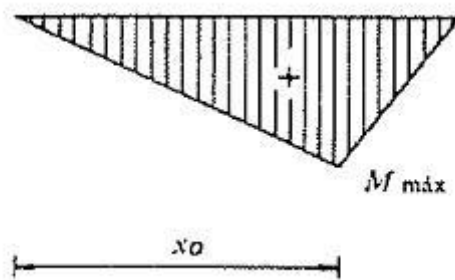


Figura 4.29 Momento flector Carga puntual excéntrica (3)

La transmisión de esfuerzos a lo largo de la estructura posibilita que los efectos del movimiento excéntrico del puente se puedan equiparar a la aplicación de un momento puntual en el extremo más cercano a la aplicación de la carga.

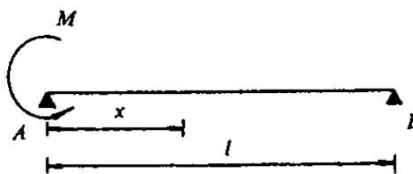


Figura 4.30 Momento puntual extremo (3)

El valor de dicho momento es el correspondiente a la transmisión de esfuerzos a lo largo de la estructura, y su valor es:

Si calculamos los esfuerzos originados por este momento puntual podemos afirmar que el momento máximo se encontrará en el punto de aplicación y poseerá el mismo valor al momento aplicados, es decir, 1,7KN.

Dicho momento puntual genera un diagrama de momentos flectores como este:



Figura 4.31 Diagrama flectores Momento puntual (3)

Es importante observar que las reacciones en los apoyos, es decir las uniones, no son despreciables. Su valor se obtiene de la siguiente expresión:

Donde

M_{puntual} =momento puntual aplicado

L = luz viga principal

Sustituyendo los valores finalmente se obtiene que:

Esta reacción será ejercida sobre las uniones de la estructura donde, si recordamos lo calculado en apartados anteriores, obtenemos unas sobrecargas totales de

Obteniéndose el siguiente diagrama de esfuerzos cortantes.



Figura 4.32 Cortante Momento puntual (3)

1.3.1.1.2. Efectos en los testeros.

En el caso de las vigas testeras se puede realizar la hipótesis de considerar un caso equivalente a la aplicación de un par de fuerzas en sus ruedas. Se puede considerar que este caso es similar a la aplicación de un momento puntual en su punto medio.

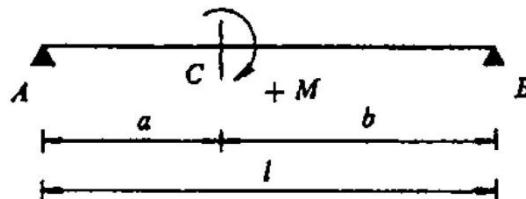


Figura 4.33 Momento puntual (3)

El valor de dicho momento flector se puede calcular sencillamente de la siguiente forma, sabiendo que:

Entonces como:

Donde:

M = momento

R = distancia al punto de aplicación

F = fuerza o reacción aplicada

Y recordando que se trata un par de esfuerzos, finalmente se obtiene que:

)

Este momento coincide con el momento máximo que debe soportar la viga.
Este momento origina el siguiente diagrama de esfuerzos flectores:

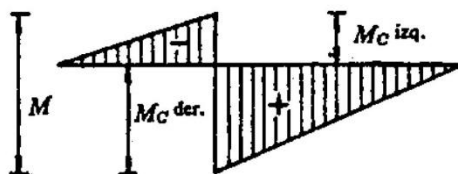


Figura 4.34 Diagrama flectores Momento puntual central (3)

A su vez de sebe recordar los esfuerzos cortantes originados por el momento puntual aplicado sobre la estructura principal de valor:

Este esfuerzo generará un axil que se verá determinado por el tamaño del perfil. Una vez se elabore la primera hipótesis se calculará el valor de dicho axil.

1.3.1.1.3. Efectos en la unión viga principal-testero.

El supuesto realizado sobre las vigas testeras es también aplicable sobre la unión. Por esta razón el esfuerzo que debe soportar la unión con motivo del movimiento del puente con la carga descentrada es exclusivamente un momento flector.

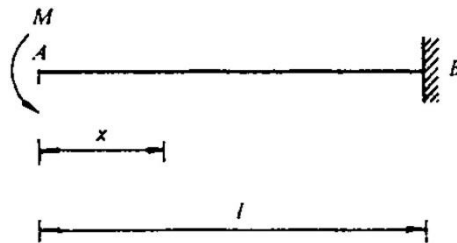


Figura 4.35 Momento puntual empotramiento (3)

Aplicando la condición de equilibrio en la unión:

Despejando:

Sustituyendo valores:

El sentido del momento flector está directamente determinado por el sentido de la marcha de puente. Por este motivo se calculará un caso genérico y posteriormente se le otorgará el sentido más desfavorable para la estructura.

Se debe recordar los efectos producidos en las uniones y que se calcularon en el apartado de la viga principal, es decir, unos esfuerzos cortantes de valor:

1.3.1.2. Reacciones producidas contra los topes de final de carrera

Estas solicitaciones se corresponden con los efectos al chocar de la estructura principal con los topes finales del camino de rodadura. Son función de multitud de variables como: velocidad de la estructura, elasticidad de la misma y principalmente de la elasticidad de los topes de polímeros.

Para calcular estas solicitaciones recurriremos al prontuario de ENSIDESA (3) donde, a falta de mayor y mejor información, se puede estimar dicho valor.

Nuestros topes se definen como amortiguadores poliméricos sin muelle interno con distribución de cargas de forma cuadrática en el tiempo. La elección de este tipo de mecanismo de amortiguación del choque se debe a varias razones:

- Es más barato que cualquier otro método
- Es resistente y duradero
- Facilmente intercambiable en caso de sustitución necesaria
- Mantenimiento prácticamente nulo

Tras esta elección podemos continuar con el cálculo de las reacciones. Para poder valorar el valor de estas recurrimos a la aproximación existente para nuestro tipo de tope en el prontuario de ENSIDERA:

Donde:

s_a = Es el acortamiento del amortiguador. Es un dato facilitado por el fabricante del mismo. Nosotros no poseemos tal información por lo que lo calcularemos a través de un balance de energías antes y después del impacto:

— —

Si despejamos el alargamiento, obtenemos:

Donde:

K = constante elástica del elemento

V_p = velocidad máxima del puente

M_{TOTAL} = masa total de la estructura (carga de servicio y peso propio de los testers y viga principal).

Si se sustituye cada elemento por su valor obtenemos:

$K = 2500 \text{ tn/m}$

$$V_p = 40 \text{ m/min}$$

$$M_{\text{TOTAL}} = 14500 \text{ kg}$$

Ahora se puede proseguir y calcular las reacciones:

Finalmente se obtiene lo siguiente:

Y si se divide por el número de topes, se obtiene las solicitaciones de cada tope:

1.3.1.2.1. Efectos en la viga principal.

Los efectos en la estructura principal se deben a una frenada brusca de puente. Dicha frenada brusca se podrá equiparar a aplicar la fuerza de frenada total en el centro de gravedad de la estructura.

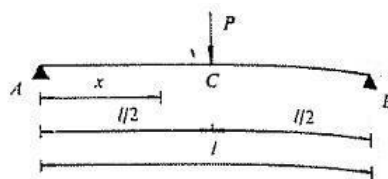


Figura 4.36 Carga puntual (3)

El máximo momento flector ocasionado por dicha frenada se puede calcular como:

Donde si sustituimos los valores:

Obtenemos:

Siendo su distribución de momentos flectores la siguiente:

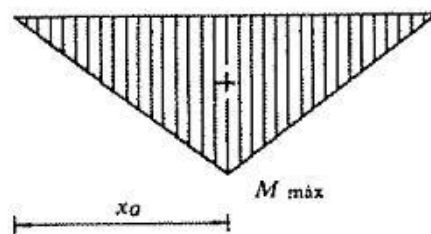


Figura 4.37 Momento flector Carga puntual (3)

Este es el momento flector mayor que debe soportar la viga principal con motivo del choque contra los topes

Al igual que en el resto de apartados, es necesario calcular el valor de los esfuerzos cortantes para poder estudiar los efectos de los esfuerzos tangenciales en el perfil de la viga testera.

La distribución de esfuerzos cortantes es la siguiente:

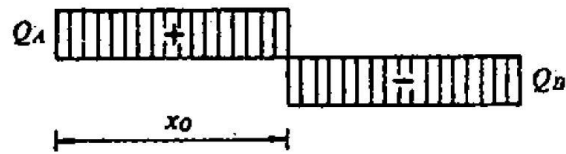
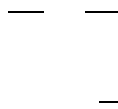


Figura 4.38 Cortante Carga puntual (3)

Para su estudio bastará con aplicar unos sencillos cálculos:



Si sustituimos los valores obtenemos:

1.3.1.2.2. Efectos en los testeros.

La disposición más desfavorable para las vigas testeras es aquella que obligue a absorber la totalidad de los esfuerzos a la viga testera. Esta se trata de modelizar los testeros como vigas apoyadas isostáticamente.



Figura 4.39 Carga puntual axil (3)

Como se puede observar la totalidad de la carga es absorbida por la viga, generando un esfuerzo de compresión cuyo valor es máximo, constante e igual al valor de la reacción al choque:

Se debe recordar que esta reacción es individual por cada testero, la reacción total por el choque es el doble de esta cantidad. El sentido del choque también es una magnitud a tener en cuenta a la hora de asignar un criterio de signos.

En este momento del proyecto se desconocen las dimensiones del perfil que se va a utilizar, por esta razón, una vez se realice la hipótesis de elegir un perfil se calculará el axil producido por esta sollicitación.

Al valor calculado anteriormente se le debe sumar la cantidad debida a las reacciones de la estructura principal. Finalmente se obtiene:

1.3.1.2.3. Efectos en la unión viga principal-testero.

Para el estudio de los efectos de choque en la unión entre la viga principal y la viga testera se ha realizado la hipótesis de utilizar una disposición geométrica de una carga puntual aplicada a un empotramiento a una distancia 0 (cero) de este.

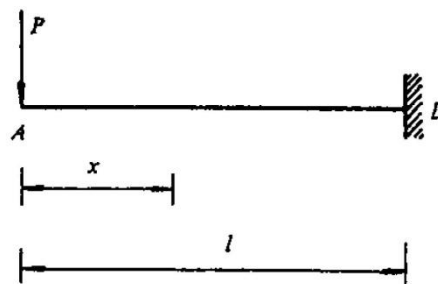


Figura 4.40 Carga puntual empotramiento (3)

Si realizamos el estudio de dicha geometría se puede observar que debido al valor nulo de la distancia, el momento flector en el empotramiento es también nulo, quedando exclusivamente el esfuerzo cortante.

Para obtener el valor de dicho esfuerzo se emplea la siguiente ecuación:

Si sustituimos los valores obtenemos:

Como se puede observar la totalidad de la carga es absorbida por la unión, generando un esfuerzo cortante cuyo valor es máximo, constante e igual al valor de la reacción al choque:

Al valor calculado anteriormente se le debe sumar la cantidad debida a las reacciones de la estructura principal. Finalmente se obtiene:

Se debe recordar que esta reacción es individual por cada unión, la reacción total por el choque es el doble de esta cantidad. El sentido del choque también es una magnitud a tener en cuenta a la hora de asignar un criterio de signos.

Se debe recordar que los efectos de la frenada brusca en el puente generan unos esfuerzos flectores que las uniones deberán absorber. Para este cálculo se ha

considerado una disposición simétrica en la que la carga se reparte de forma equitativa entre ambas uniones.

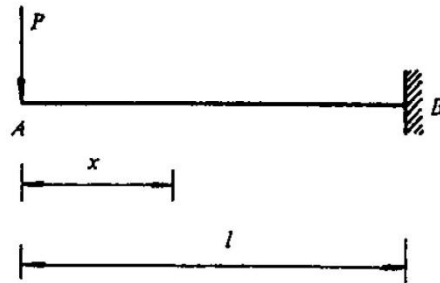


Figura 4.41 Carga puntual empotramiento (3)

Aplicando el equilibrio en el empotramiento se obtiene:

Sustituyendo valores:

1.3.2. Reacciones horizontales transversales

1.3.2.1. Reacciones debidas a la aceleración y deceleración del carro.

Las aceleraciones y deceleraciones que se ocasionan durante el movimiento de desplazamiento del carro conducen a la aparición de reacciones horizontales transversales al camino de rodadura. Estas fuerzas transversales se calcularán en

función de la aceleración o deceleración máximas que se produzcan en servicio normal.

Tal y como se comentó en el apartado de caracterización, la aceleración media positiva o negativa es un dato que debe ser proporcionado por el fabricante de el aparato o , en su defecto, ser fijado por el usuario final. Tal y como lo definimos anteriormente tomaremos un valor de $0,25 \text{ m/s}^2$.

El efecto se representa en la figura expuesta a continuación:

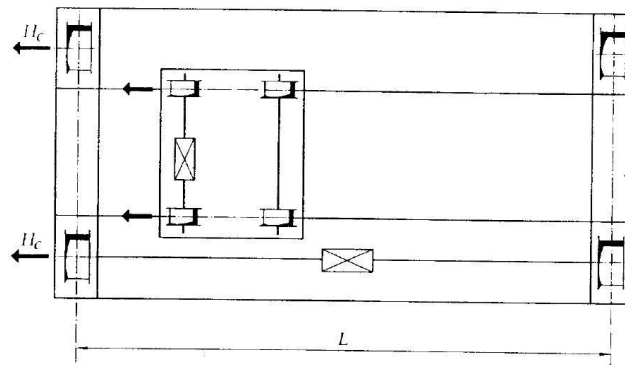


Figura 4.42 Efectos aceleración del carro (3)

El valor de la fuerza total de aceleración/deceleración del carro estará totalmente limitado por el valor de la adherencia entre las ruedas motrices del carro y las alas del perfil por donde se desplaza. El coeficiente de adherencia es el mismo que el utilizado en el movimiento del puente, es decir, 0,20.

Para calcular dichos esfuerzos vamos a recurrir una vez más a la normativa, donde nos especifican que dichos esfuerzos pueden hallarse de la siguiente forma:

Donde:

N = carga nominal

C = peso del polipasto

g = aceleración de la gravedad

f = coeficiente de fricción

k_C = relación entre ruedas motrices

Sustituyendo los valores obtenemos:

De este estudio se pueden extraer 2 conclusiones:

- El valor de los esfuerzos debidos al movimiento del carro
- La comprobación de que el carro móvil no tiene impedimentos para moverse con las aceleraciones predefinidas.

Tal y como puede observarse el valor de los efectos del movimiento del carro sobre la estructura es insignificante comparado con el resto de sobrecargas. Por este motivo se despreciará de los sucesivos cálculos.

1.3.2.2. Reacciones debidas a la marcha oblicua.

La marcha oblicua del puente origina reacciones horizontales transversales (iguales y opuestas) en las ruedas extremas o rodillos guía extremos.

A falta de un cálculo más exhaustivo en el que se consideren las particularidades estructurales y constructivas del puente grúa en particular y las de sus mecanismos de traslación, propias de estudios de elementos finitos, podrá optarse por

la hipótesis obtenida del prontuario de ENSIDESA (3), de asignar el dado por la expresión:

Siendo:

V_{\max} = reacción vertical correspondiente a la rueda extrema donde aparece la reacción horizontal o en el carretón de dos ruedas extremos

λ = es un factor cuyo valor es función de la relación L/B , según la siguiente gráfica procedente del prontuario de ENSIDESA (3):

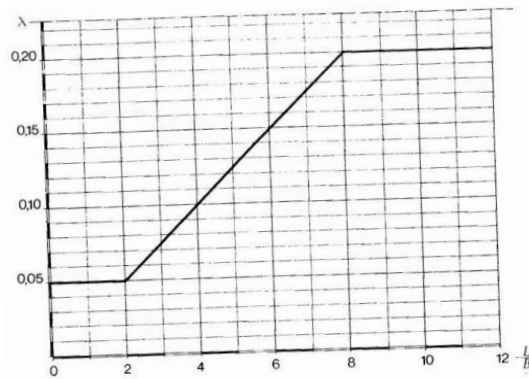


Figura 4.43 Coeficiente de marcha oblicua (3)

Finalmente podemos afirmar que:

—

Esta reacción se debe aplicar en las ruedas (tanto motrices como seguidoras) de las vigas testeras y en sentidos opuestos.

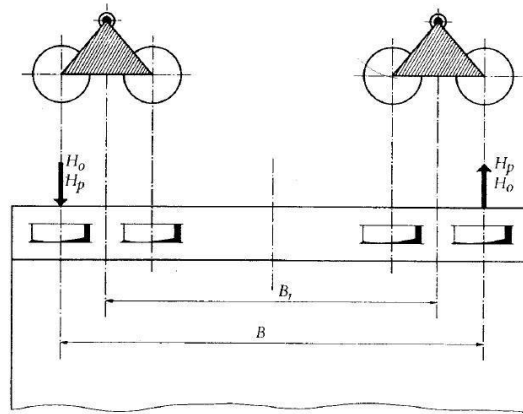


Figura 4.44 Marca oblicua (3)

Estas reacciones crean un momento de giro que se trasmite a través de la viga testera hasta la unión y posteriormente a la viga principal. Por esta razón se deberá estudiar su efecto en todos los elementos del puente grúa.

Debido a que ambos sentidos de la marcha, tanto hacia adelante como hacia atrás, generan estas sollicitaciones en caso de marca oblicua, se realizará el estudio de un caso genérico para posteriormente seleccionar el sentido de la marcha que provoque los esfuerzos más desfavorables para los elementos de la estructura.

1.3.2.2.1. Efectos en los testeros.

Este caso es exactamente igual al apartado de movimiento del puente con excentricidad. En el caso de las vigas testeras se puede realizar la hipótesis de considerar un caso equivalente a la aplicación de un par de fuerzas en sus ruedas. Se puede considerar que este caso es similar a la aplicación de un momento puntual en su punto medio.

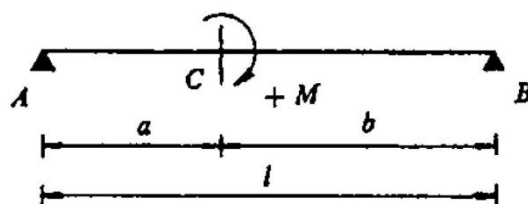


Figura 4.45 Momento puntual (3)

El valor de dicho momento flector se puede calcular sencillamente de la siguiente forma, sabiendo que:

Entonces como:

Donde:

M = momento

R = distancia al punto de aplicación

F = fuerza o reacción aplicada

Y recordando que se trata un par de esfuerzos, finalmente se obtiene que:

)

Este momento coincide con el momento máximo que debe soportar la viga.
Este momento origina el siguiente diagrama de esfuerzos flectores:

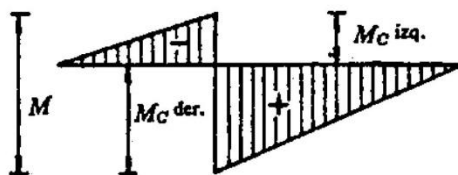


Figura 4.46 Diagrama flectores Momento puntual (3)

A su vez de debe recordar los esfuerzos cortantes originados por el momento puntual aplicado sobre la estructura principal de valor:

Este esfuerzo generará un axil que se verá determinado por el tamaño del perfil. Una vez se elabore la primera hipótesis se calculará el valor de dicho axil.

1.3.2.2.2. Efectos en la unión viga principal-testero.

El supuesto realizado sobre las vigas testeras es también aplicable sobre la unión. Por esta razón el esfuerzo que debe soportar la unión con motivo del movimiento del puente de forma oblicua es exclusivamente un momento flector.

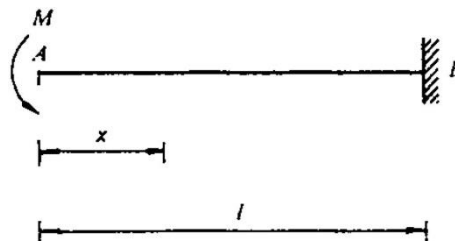


Figura 4.47 Momento puntual empotramiento (3)

Aplicando la condición de equilibrio en la unión:

Despejando:

Sustituyendo valores:

El resultado indica que la unión debe soportar la totalidad del momento M_H aplicado.

El sentido del momento flector está directamente determinado por el sentido de la marcha de puente. Por este motivo se calculará un caso genérico y posteriormente se le otorgará el sentido más desfavorable para la estructura.

Se debe recordar los efectos producidos en las uniones y que se calcularon en el apartado de la viga principal, es decir, unos esfuerzos cortantes de valor:

1.3.2.2.3. Efectos en la viga principal.

La marcha oblicua del puente desencadena una serie de efectos sobre la estructura que finalmente repercuten en la estructura. Dicha marcha oblicua puede asemejarse a la aplicación en el extremo más cercano a la carga de la viga principal, de un momento puntual.

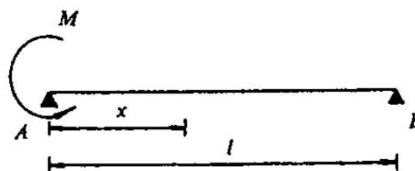


Figura 4.48 Momento puntual extremo (3)

El valor de dicho momento es el correspondiente al apartado de las vigas testeras, y posee un valor de:

Si calculamos los esfuerzos originados por este momento puntual podemos afirmar que el momento máximo se encontrará en el punto de aplicación y poseerá el mismo valor al momento aplicados, es decir, 35KN.

Dicho momento puntual genera un diagrama de momentos flectores como este:



Figura 4.49 Diagrama Momento puntual extremo (3)

Es importante observar que las reacciones en los apoyos, es decir las uniones, no son despreciables. Su valor se obtiene de la siguiente expresión:

Donde

M_{punt} = momento puntual aplicado

L = luz de la viga principal

Sustituyendo los valores finalmente se obtiene que:

Obteniéndose el siguiente diagrama de esfuerzos cortantes.



Figura 4.50 Diagrama esfuerzo cortante constante (3)

El estudio del choque de una estructura es un proceso delicado y con infinitud de variables. Por ello se tienen que tener en cuenta una serie de factores con el fin de realizar un estudio correcto y seguro:

1.4. Efectos del choque, S_T .

Para cuantificar los efectos de choque se deben considerar dos casos diferenciados:

- a) El choque se produzca sobre la estructura;
- b) El choque se produzca sobre la carga suspendida.

1.4.1. Choque sobre la estructura.

A su vez, dentro de este caso se deben distinguir dos casos principales:

- a) Aquel caso en el cual la carga suspendida puede balancearse;
- b) Aquel en que unas guías rígidas impiden el balanceo de la carga.

1.4.1.1. Carga suspendida con posibilidad de balanceo

En el primer caso se aplican las reglas siguientes:

- 1) Para velocidad de desplazamiento horizontal inferior a 0,4 m/s no se tiene en cuenta el efecto de colisión
- 2) Para la velocidad de desplazamiento superior a 0,4 m/s se tienen en cuenta las reacciones provocadas en la estructura por el choque sobre los topes.

El presente proyecto posee una velocidad de traslación del puente de valor:

Por lo tanto se debe tener en cuenta los efectos del choque contra los topes

- 3) Se admite que el tope es capaz de absorber la energía cinética del aparato (sin carga de servicio) a una fracción de la velocidad nominal de traslación de $0,7 V_t$.
- 4) Los esfuerzos que resultan en la estructura se calculan en función de la deceleración que el tope utilizado impone al aparato.

En caso de velocidades elevadas, (superiores a 1 m/s) la utilización de ralentizadores entrando en acción en la proximidad de los extremos de los caminos de rodadura se autoriza con la reserva de que la acción de estos ralentizadores se ejerza automáticamente y que ellos impongan al aparato una deceleración efectiva,

reduciendo en cualquier circunstancia antes de la llegada a los topes la velocidad de traslación a la velocidad reducida prevista.

Es este caso se toma como valor de V_T para el cálculo del tope la velocidad reducida obtenida por la acción del ralentizador.

Se debe utilizar un dispositivo seguro y eficaz. Un simple interruptor de final de carrera que corta la corriente del motor de traslación es insuficiente para considerar el choque a la velocidad reducida.

1.4.1.2. Guías rígidas impiden el balanceo de la carga

En el segundo caso en que la carga no puede balancearse, se comprueba el efecto de colisión de la misma manera, pero teniendo en cuenta, en este caso, el valor de la carga de servicio.

1.4.2. Choque sobre la carga suspendida.

No se consideran los choques debidos a las colisiones de la carga con obstáculos fijos nada más que para los aparatos en los que la carga está guiada rígidamente. En este caso se toman en consideración las solicitaciones provocadas por tal choque.

El cálculo de estas solicitaciones puede hacerse considerando el esfuerzo horizontal capaz de provocar el levantamiento de dos de las ruedas del carro, aplicado a la altura de la carga.

1.4.3. Solicitaciones debidas a los efectos climáticos.

En este apartado se estudian todas aquellas solicitaciones debidas a los efectos climáticos que son las que resultan de la acción del viento, de las sobrecargas de la nieve y de las variaciones de temperatura.

1.4.3.1. Efecto del viento.

Véase lo indicado en la Norma UNE 58113 (4) excepto para las condiciones de fuera de servicio que a continuación se detallan.

1.4.3.2. Viento fuera de servicio.

Se trata de un viento (tempestad) máximo para el cual el aparato de elevación estará concebido para permanecer estable en las condiciones fuera de servicio, indicadas por el fabricante. La velocidad varía con la altura del aparato sobre el nivel del suelo circundante, el emplazamiento geográfico y el grado de exposición a los vientos predominantes. Para los aparatos de elevación utilizados al aire libre, la presión del viento teórico normal y la velocidad correspondiente para las condiciones "fuera de servicio" se indican en la tabla.

Presiones fuera de servicio Altura sobre el suelo m	Presión del viento fuera de servicio N/m²	Velocidad aproximada equivalente del viento fuera de servicio m/s
0 a 20	800	36
20 a 100	1 100	42
más de 100	1 300	46

Tabla 4.3 Viento fuera de servicio

Para calcular las cargas debidas al viento en las condiciones "fuera de servicio", la presión del viento puede ser considerada constante en el intervalo de altura vertical que figura en la tabla 4.3.

Alternativamente la presión teórica del viento sobre el extremo superior del aparato de elevación puede ser considerada como constante toda la altura del aparato. Si los aparatos son instalados fijos o utilizados durante largos períodos en un

punto donde las condiciones de viento son excepcionalmente severas, los citados valores pueden ser modificados por acuerdo entre el usuario y el fabricante teniendo en cuenta un estudio de los datos meteorológicos locales.

Para ciertos tipos de aparatos donde la pluma puede ser rápidamente bajada (tales como las grúas torre replegables por medio de un mecanismo incorporado) el viento fuera de servicio puede no considerarse a condición de que el aparato sea definido para ser replegado a cada final de jornada de trabajo.

1.4.3.3. Sobrecarga de nieve.

Al tratarse de una estructura cobijada en el interior de una nave industrial con función de almacén, no se tienen en cuenta las sobrecargas de nieve en el cálculo de los aparatos de elevación.

1.4.3.4. Solicitaciones debidas a las diferencias de temperatura

Las solicitaciones debidas a las variaciones de temperatura no se consideran más que en casos particulares, entre otros, cuando los elementos no pueden dilatarse libremente o en aquellos casos en los que existan fuentes importantes de calor o frío que puedan originar dilataciones desiguales en los elementos que constituyen la viga carrilera.

Por esta razón deben considerarse en el caso en que la viga carrilera no pueda dilatarse libremente y que si longitud entre juntas de dilatación sea superior a 40m y tomándose como límite de temperatura extrema de - 20 °C a + 45 °C.

Es importante tener en cuenta para mantener un adecuado grado de seguridad que la longitud que aumenta la estructura principal debido a la dilatación térmica. Ésta depende del coeficiente de dilatación térmica del acero ($12 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$), de la luz de la

estructura L (15m) y del gradiente térmico máximo entre distintas estaciones ΔT (50°C).

Todo esto genera un incremento en la longitud que tiene que ser tomado en cuenta en el juego de las ruedas y el carril de rodadura para evitar esfuerzos no deseados debido a cargas por temperatura.

Sustituyendo los valores indicados anteriormente:

Esta distancia corresponde a la dilatación total, por lo que cada rueda deberá tener un juego mínimo de:

1.4.4. Solicitaciones diversas

1.4.4.1. Cargas soportadas por los accesos y pasarelas.

Para el dimensionado de las pasarelas de acceso, cabinas de conducción, plataformas, etc. se consideran como cargas concentradas:

a) 3 000 N para los accesos y pasarelas de mantenimiento donde pueden depositarse materiales;

b) 1 500 N para los accesos y pasarelas destinados únicamente al paso del personal;

c) 300 N de empuje horizontal sobre las barandillas y rodapiés.

Estas cargas no se tendrán en cuenta en el cálculo de las vigas, por lo tanto serán excluidas del presente proyecto.

1.4.4.2. Influencias sísmicas

Como regla general, no es preciso verificar las estructuras de los aparatos de elevación bajo los efectos de los seísmos en España.

Sin embargo, si una disposición reglamentaria lo exigiera, o la especificación particular lo prescribiera, podrán aplicarse en las regiones sometidas a seísmos, reglas o recomendaciones particulares. En concreto deben considerarse en los caminos de rodadura ubicados en la zona tercera de sismicidad alta, así como en los ubicados en la segunda zona en lugares con grado VII de intensidad, según la clasificación del capítulo 3 de la Norma Sismorresistente P.G, S – 1 (1974).

Esta exigencia debe ser suministrada al fabricante por el usuario de la instalación quien debe entregar los espectros sísmicos correspondientes.

Nuestro caso no se encuentra contemplado por lo que no tendremos en cuenta los efectos sísmicos.

2. CASOS DE SOLICITACIONES A CONSIDERAR EN EL CÁLCULO DE LAS ESTRUCTURAS

La normativa estipula que se deben estudiar 3 casos a la hora de validar una estructura de un puente grúa. La obligatoriedad de estos estudios está sujeta al tipo de puente grúa, su utilización y las condiciones de uso en servicio. Los tres casos de solicitaciones que se consideran en los cálculos, recomendados por la normativa vigente UNE serie 58 (4) y el prontuario de ENSIDESA (3), son:

- Caso I: Servicio normal sin viento.
- Caso II: Servicio normal con temperaturas
- Caso III: Solicitaciones excepcionales.

Calculadas las diversas solicitaciones según se indica en el apartado anterior, se tiene en cuenta que existe cierta probabilidad de superar la tensión calculada debido a imperfecciones de cálculo o a imprevistos. Esto se evita mediante la aplicación de un coeficiente de mayoración γ_c dependiente del grupo en el que está clasificado el aparato.

Grupo del aparato	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
γ_c	1,00	1,02	1,05	1,08	1,11	1,14	1,17	1,20

Tabla 3 Valor del coeficiente de mayoración γ_c .

Se tendrán en cuenta las solicitaciones producidas por la carga de servicio, pero se despreciarán los efectos del balanceo producidos por el choque, ya que este balanceo no solicita la estructura más que cuando prácticamente han sido absorbidos los otros efectos.

Esta norma no es aplicable a las cargas guiadas rígidamente que no pueden balancear aunque esto no se aplica al objetivo de este proyecto

2.1. Caso I. Aparato en servicio sin viento.

Durante esta hipótesis se consideran las solicitaciones estáticas debidas al peso propio SG, las solicitaciones debidas a la carga de servicio S_L multiplicadas por el coeficiente dinámico Ψ y los dos efectos horizontales más desfavorables S_H entre los definidos en el apartado 3.1.3 con exclusión de los efectos de choque.

El conjunto de estas solicitaciones, deberá multiplicarse por el coeficiente de mayoración γ_c especificado en la tabla 1, o sea: γ

)

En el caso en que la traslación sea un movimiento de situación, no utilizado normalmente para los desplazamientos de las cargas, el efecto de este movimiento no se combina con otro movimiento horizontal. Es el caso, por ejemplo, de una grúa de puerto que una vez situada efectúa las operaciones de manutención en un punto fijo.

2.2. Caso II. Aparato en servicio normal con viento.

A las solicitaciones del caso I se añaden los efectos del viento límite de servicio definido en la norma UNE 58113, y en caso necesario la solicitación debida a la variación de temperatura, resultando:

Los efectos dinámicos de aceleración y deceleración, en principio, no tienen los mismos valores en el caso II que en el caso I, porque las diferencias de temperaturas pueden crear movimientos de dilatación provocando efectos desconocidos.

En nuestro caso, la estructura está totalmente protegida del viento y de la intemperie, por lo que se desprecia este hipotético caso. Los efectos de la temperatura son despreciables ya que no provocan esfuerzos, simplemente movimientos.

2.3. Caso III. Aparato sometido a solicitaciones excepcionales.

Las solicitaciones excepcionales corresponden a los siguientes casos:

- a) Aparato fuera de servicio con viento máximo;
- b) Aparato en servicio bajo el efecto de un choque;
- c) Aparato sometido a los ensayos previstos en la Norma UNE 58118.

Se considerará la mayor de las combinaciones siguientes:

a) Solicitación S_G debida al peso propio aumentada con la $S_{W \max}$ máx. debida al viento máximo fuera de servicio (incluidas las reacciones de los anclajes);

b) Solicitación S_G debida al peso propio y S_L debida a la carga de servicio a la que se añade el mayor de los efectos de choque S_T previstos.

c) solicitación S_G debida al peso propio aumentada en la mayor de las dos solicitaciones $\Psi \rho_1 S_1$ y $\rho_2 S_1$ siendo ρ_1 y ρ_2 : Los coeficientes de mayoración de la carga nominal prevista en los ensayos dinámicos (ρ_1) y estáticos (ρ_2) definidos en los apartados 3.3.2.3 y 3.3.1.3 de la Norma UNE 58118.

Estos tres casos se expresan por las relaciones:

a) $S_G + S_{W \max}$

b) $S_G + S_L + S_T$

c) $S_G + \Psi \rho_1 S_1$ o $S_G + \rho_2 S_1$

Conviene señalar que las verificaciones previstas en c) no son aplicables más que en el caso en que la carga de servicio, en el supuesto de que actúe sola, provoque tensiones de sentido opuesto a la resultante del peso propio, en tanto en cuanto la carga de ensayo estático impuesta no sobrepase 1,5 veces la carga nominal. (Véase la Norma UNE 58121). Este no es nuestro caso por lo que se desprecia esta hipótesis.

En el caso de utilizar dispositivos de ralentización previo al choque sobre el tope, en las condiciones previstas en el apartado 3.1.3.2.1, se tomará S_T la mayor de las solicitaciones resultantes, sea la deceleración provocada previamente por el ralentizador, sea la impuesta finalmente por el tope.

CAPÍTULO V

ESTUDIO, DISEÑO Y DIMENSIONADO DE LOS PERFILES.

V. ESTUDIO, DISEÑO Y DIMENSIONADO DE LOS PERFILES

Uno de los puntos fundamentales del proyecto consiste en seleccionar el tipo de perfil y sus dimensiones. A lo largo de este capítulo se desarrollaran los métodos y los cálculos seguidos para desarrollar por completo ya que ambos perfiles han sido creados desde cero.

En primer lugar se explicará el procedimiento para el perfil de la viga principal y posteriormente se hará lo mismo para las vigas testeras.

La caracterización del perfil es una etapa indispensable en el diseño del puente grúa debido a que su geometría determinará en gran medida la resistencia, su estabilidad así como su peso.

Este perfil debe resistir los efectos de las cargas así como poseer estabilidad a pandeo respecto ambos ejes, unas almas fuertes para soportar las tensiones tangenciales a las que está sometido.

En el mercado existen numerosos perfiles conformados, laminados y soldados. Todos con sus características únicas y distintivas que les hacen apropiados para una situación en particular o en algunos casos, una utilización general. En la siguiente Figura podemos observar algunos de los muchos perfiles que existen normalizados hoy en día:

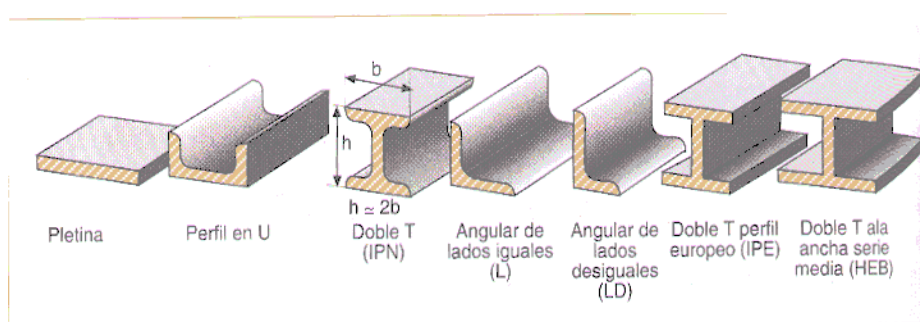


Figura 5.1 Tipos de perfiles (3)

1. DISEÑO TEÓRICO DE PERFIL DE ALMA DOBLE PARA LA VIGA PRINCIPAL

La viga del puente es la parte de la estructura más grande y que mayores esfuerzos (momentos flectores principalmente) va a soportar. Es por esta razón que se necesita un perfil que cumple estrictamente con las necesidades de rigidez y resistencia.

Después de un estudio prolongado y profundo de los distintos perfiles conocidos, se propone la utilización de un perfil de alma doble. Las principales razones que han originado este planteamiento han sido:

- Una geometría que le proporciona un mayor momento de inercia respecto al eje débil, lo que le confiere mayor rigidez frente a esfuerzos en direcciones no convencionales para el resto de perfiles.
- Posee un alma doble lo que aumenta la resistencia a cortante, muy importante ya que son las almas las responsables de resistir las mayores tensiones tangenciales.
- Las grúas puente son estructuras que soportan grandes cargas y suelen tener una luz grande, por ello es necesario un perfil armado debido a que son mucho más resistentes y estables que los perfiles conformados y laminados. En comparación se necesitaría un perfil el doble de grande para un uso similar
- Es un perfil ampliamente utilizado en la industria de manutención y es el utilizado y recomendado por la mayor parte de los fabricantes para esta luz y esta carga de servicio

El perfil de viga estudiar en esta sección no está normalizado en ningún prontuario ni manual de fabricantes de estructuras metálicas conocido, se ha diseñado desde 0.

El motivo de la invención de este perfil se debe principalmente al deseo de obtener un perfil lo más optimizado. EL mayor problema a la hora de desarrollar un perfil para una estructura es la gran cantidad de variables (alma, canto, espeso de las almas, espesor de las alas, material, etc.) infinita cantidad de posibilidades existentes.

Una solución posible, sin la necesidad de la iteración con una gran cantidad de variables a la hora de seleccionar las dimensiones, es la de presuponer diversas dimensiones del perfil siguiendo unas pautas determinadas para posteriormente seleccionar el caso más favorable para nuestro estudio. Esto es una gran ayuda y facilita enormemente el cálculo de la estructura. Otra razón principal es la de demostrar los conocimientos adquiridos

Para suponer las dimensiones del perfil laminado-soldado del estudio se siguieron diversas directrices:

- Seguir una relación alma / canto razonable y constante.
- Mantener una distancia entre las almas y el final del alma del perfil razonable.
- Características y dimensiones similares a las de otros perfiles similares del prontuario de ENSIDESA (3).

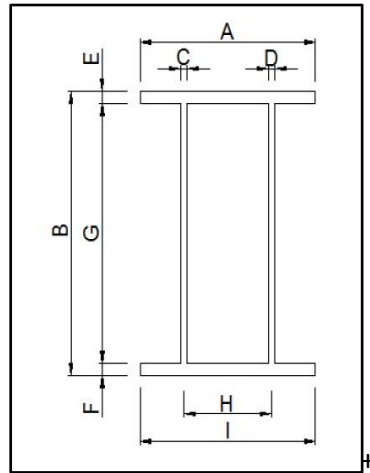


Figura 5.2 Perfil de alma doble

PERFIL	A	B	C	D	E	F	G	H	I	Dist. entre almas	Dist. borde-ala
300 X 200	200	300	6	6	9	9	282	140	200	134	27
350 X 230	230	350	7	7	11	11	328	170	230	163	26,5
400 X 260	260	400	8	8	12	12	376	200	260	192	26
450 X 300	300	450	9	9	14	14	422	230	300	221	30,5
500 X 330	330	500	10	10	15	15	470	260	330	250	30
550 X 360	360	550	11	11	17	17	516	280	360	269	34,5
600 X 400	400	600	12	12	18	18	564	300	400	288	44
650 X 430	430	650	13	13	20	20	610	320	430	307	48,5
700 X 460	460	700	14	14	21	21	658	340	460	326	53
750 X 500	500	750	15	15	23	23	704	360	500	345	62,5
800 X 530	530	800	16	16	24	24	752	380	530	364	67
850 X 560	560	850	17	17	26	26	798	400	560	383	71,5
900 X 600	600	900	18	18	27	27	846	420	600	402	81

Tabla 5.1 dimensiones teóricas del perfil

Para el material hemos elegido uno utilizado comúnmente en la construcción. Se trata de acero estructural del tipo S275. La razón de esto es tanto sus buenas características generales (resistencia mecánica, dilatación térmica, etc.) como que al tratarse de un material conocido, es más barato que sus homónimos especiales de alta resistencia. Las principales propiedades materiales son las siguientes:

-	Módulo de elasticidad (E)	210 Gpa
-	Módulo de Poisson (ν)	0,3
-	Límite elástico (σ_e)	275 Mpa
-	Límite plástico (σ_p)	340 – 470 Mpa
-	Coef. De dilatación térmica (α)	$12 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
-	Temperatura de referencia (T_{ref})	20°C
-	Conductividad térmica (K)	50W/°C x m
-	Peso específico (γ)	78.50 KN/m

1.1. Principales datos del perfil

Toda esta información no es suficiente de cara a calcular los principales efectos de las sobrecargas sobre la estructura. Algunos datos de importante interés son:

- Área de la sección
- Centro de gravedad de la sección
- Momento de inercia de la sección respecto los ejes x e y
- Módulo resistente de la sección
- Peso por unidad de longitud*

* Este último dato se ha calculado a título informativo y con el objetivo de comprobar si se encuentran dentro del rango de perfiles parecidos. Este dato no afecta al cálculo de sobrecargas, ya que como se ha mencionado antes, se ha elegido el peso del perfil más grande.

Al tratarse de una sección compleja su cálculo se ha tenido que dividir en subelementos ya que de lo contrario habría sido necesaria la ayuda de un sistema de procesamiento de datos.

Lo primero de todo es dividir el perfil en elementos más pequeños y lo suficientemente simples como para no complicar los cálculos. Una forma, de las muchas posibilidades que existen, muy simple es la siguiente:

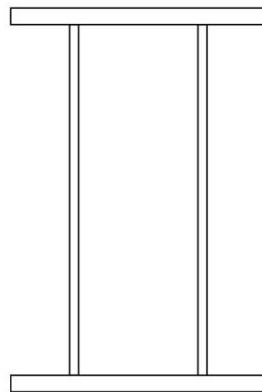


Figura 5.3 Estudio perfil alma doble 1

Ahora numeramos los distintos polígonos empezando por los horizontales de abajo hacia arriba y de izquierda a derecha para los verticales.

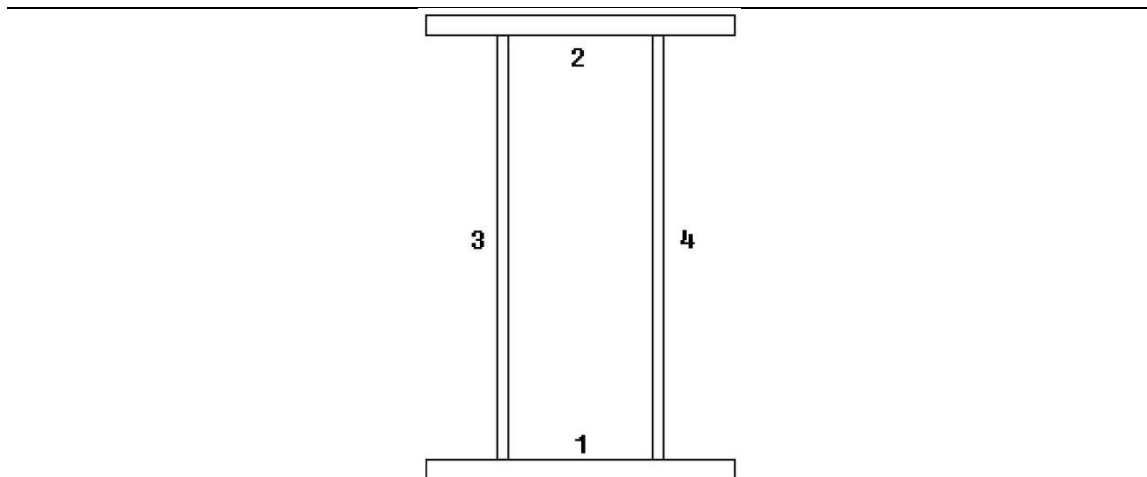


Figura 5.4 Estudio perfil alma doble 2

De este modo ya podremos proceder a realizar los cálculos de los datos que buscamos.

- Área total de la sección

Una simple comprobación sirve para averiguar el área total de la sección.

$$A_{\text{TOTAL}} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

El área de los distintos elementos, al ser rectángulos, pueden calcularse de forma sencilla con la siguiente fórmula:

$$A_N = \text{Base} \cdot \text{Altura}$$

- Centro geométrico de la sección

Se calcula de la siguiente forma

Donde:

m_i = masa de cada polígono

R_i = distancia del sistema de referencia a el centro geométrico de cada sub-sección.

- Momento de inercia de la sección respecto los ejes x e y.

El momento de inercia de la sección respecto al centro de gravedad y referido a cada eje se corresponde con:

$$I_{X\text{TOTAL}} = I_{X1} + I_{X2} + I_{X3} + I_{X4}$$

$$I_{Y\text{TOTAL}} = I_{Y1} + I_{Y2} + I_{Y3} + I_{Y4}$$

Donde los subíndices X1 y X2 hacen referencia a la pieza sólida y el hueco interno respectivamente.

Al tratarse de un rectángulo, sabemos que:

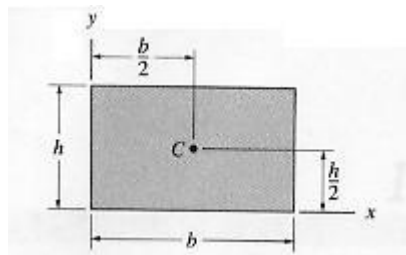


Figura 5.5 Momento de inercia (6)

Donde:

b = base del rectángulo

H = altura del rectángulo

Estos son los momentos de inercia de cada subsección referidos a sus centros de gravedad y para cada eje de estudio. Se debe recordar que el momento de inercia total se encuentra referido al centro de gravedad total de la sección y que por tanto se debe aplicar el principio de Steiner para obtener dichos valores.

Por lo tanto, operando se obtiene:

Donde:

A = área de la sección

d = distancia entre centros de gravedad

- Módulo resistente de la sección (W_{resist})

El módulo resistente de una sección nos indica una relación simple entre la tensión (σ) y el Momento flector (M_f) para una sección determinada:

_____ —

_____ —

Donde:

M_f = es el momento flector de la sección respecto a un eje

$I_{x/y}$ = momento de inercia respecto al eje indicado

b = ala del perfil

h = altura del perfil

Si desarrollamos un poco las ecuaciones:

$$\text{---} \Rightarrow$$

Obteniendo las siguientes ecuaciones en caso de referirse al eje X o al eje Y:

$$\text{---} \quad \text{ó} \quad \text{---}$$

- Peso por unidad de longitud*

Una vez sabemos cómo se calculan todos y cada uno de los elementos necesarios, procederemos a su cálculo (no mostrado para ahorrar espacio y evitar contenido innecesario) y posterior exposición.

Exposición de los datos calculados:

Perfil	$A_{\text{TOTAL}} \text{ (mm}^2\text{)}$	$X_G \text{ (mm)}$	$Y_G \text{ (mm)}$	$I_x \text{ (mm}^4\text{)}$	$I_y \text{ (mm}^4\text{)}$	$W_{\text{res}} \text{ (cm}^3\text{)}$	Peso/m
300 x 200	6984	100	150	9866,29	2859,17	657,75	282
350 x 230	9652	115	175	18659,48	5550,21	1066,25	328
400 x 260	12256	130	200	30580,02	9534,40	1529,07	376
450 x 300	15996	150	225	51206,59	16350,83	2275,84	422



500 x 330	19300	165	250	75540,58	24878,08	3021,62	470
550 x 360	23592	180	275	112148,52	35480,56	4078,12	516
600 x 400	27936	200	300	157860,74	49672,24	5262,02	564
650 x 430	33060	215	325	219903,55	67126,26	6766,26	610
700 x 460	37744	230	350	289228,21	87343,05	8263,66	658
750 x 500	44120	250	375	391233,98	116385,06	10432,90	704
800x 530	49504	265	400	496508,45	146473,17	12412,71	752
850 x 560	56252	280	425	638439,95	184693,60	15022,11	798
900 x 600	62856	300	450	799170,04	231593,19	17759,33	846

Tabla 5.2 principales valore del perfil

Si se compara estos valores respecto a los del prontuario de perfiles soldados de ENSIDESA (3), podemos observar que los valores son muy parecidos a los expuestos ahí. Esto nos puede servir como ligera corrección.

Las pequeñas diferencias se basan principalmente en el sistema de referencia y en las distancias tomadas: En este proyecto se mide la base mientras que en el prontuario la magnitud utilizada es la distancia entre almas.

Se debe recordar que por motivos de adecuación entre la unión, la viga testera y la viga principal la viga principal sufre una eliminación de material en los extremos. El estudio de los momentos en esta sección se ha llevado a cabo con anterioridad en su capítulo correspondiente.

Una vez se conozca las dimensiones del perfil definitivo, se procederá a estudiar con mayor énfasis la citada reducción.

2. DISEÑO TEÓRICO DE PERFIL CUADRADO PARA LAS VIGAS TESTERAS

Las vigas testeras, a pesar de su pequeño tamaño, son una parte fundamental en la estructura global de un puente grúa. Son los responsables de soportar el peso de la carga de servicio y el peso de la viga principal. También son las encargadas de acoger las ruedas sobre las que descansa y se transporta la estructura así como absorber los impactos contra los topes de final de recorrido en caso de fallo de los sistemas electrónicos. Por todas estas razones se necesita un perfil que cumple estrictamente con las necesidades de rigidez y resistencia.

Después de un estudio de distintos perfiles conocidos, se propone la utilización de un perfil cuadrado. Las principales razones que han originado este planteamiento han sido:

- Una geometría que le proporciona una gran resistencia e inercia en todas direcciones comparando con otros perfiles y evitan la necesidad de recurrir a un perfil macizo.
- Posee una superficie lateral plana, característica fundamental ya que es en ese lateral donde se unen mediante uniones atornilladas a la viga principal.
- Las grúas puente son estructuras que soportan grandes cargas y suelen tener una luz grande, por ello es necesario un perfil armado debido a que son mucho más resistentes y estables que los perfiles conformados y laminados. En comparación se necesitaría un perfil el doble de grande para un uso similar
- Es un perfil muy recomendado en la ampliamente utilizado en la industria de manutención y es el utilizado y recomendado por la mayor parte de los fabricantes para estas cargas de servicio y totales.

Al igual que en el caso de la viga principal, el perfil de viga estudiar en esta sección no está normalizado en ningún prontuario ni manual de fabricantes de estructuras metálicas conocido, se ha diseñado desde 0.

El motivo de la invención de este perfil es exactamente la misma a la explicada en el apartado anterior, obtener la ayuda de tener varias opciones a la hora de seleccionar un perfil para nuestro propósito y sin la necesidad de realizar complejas iteraciones en el de desarrollar un perfil válido.

- Seguir una relación base / altura razonable y constante.
- Características y dimensiones similares a las de otros perfiles similares del prontuario de ENSIDESA (3).

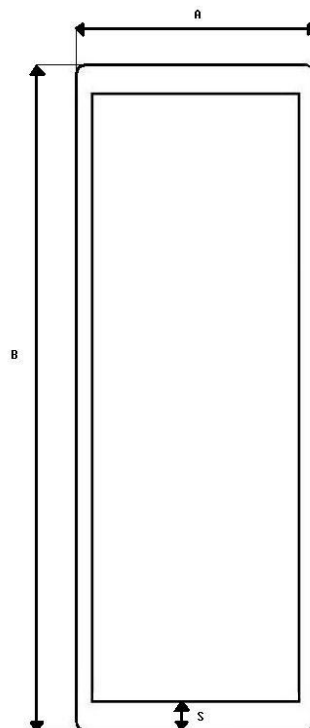


Figura 5.6 perfil cuadrado

Perfil	A	B	S
150 x 100	100	150	10



200 x 130	130	200	10
250 x 160	160	250	10
300 x 200	200	300	15
350 x 230	230	350	15
400 x 260	260	400	15
450 x 300	300	450	15
500 x 330	330	500	15
550 x 360	360	550	15
600 x 400	400	600	16
650 x 430	430	650	16
700 x 460	460	700	16
750 x 500	500	750	18

Tabla 5.3 dimensiones perfil cuadrado

Para las vigas testeras se ha elegido el mismo material que en el caso de la estructura principal, acero para la construcción tipo 275. Sus características están detalladas en el apartado anterior.

2.1. Principales datos del perfil

Al igual que en el apartado anterior, es necesaria cierta información preliminar antes de proceder a calcular esfuerzos sobre la viga. Toda esta información es muy importante si perseguimos el calcular los principales efectos de las sobrecargas sobre la estructura. Los datos hallados a continuación son:

- Área de la sección
- Centro de gravedad de la sección
- Momento de inercia de la sección respecto los ejes x e y
- Módulo resistente de la sección
- Peso por unidad de longitud*

* Este último dato se ha calculado a título informativo y con el objetivo de comprobar si se encuentran dentro del rango de perfiles parecidos. Este dato no afecta al cálculo de sobrecargas, ya que como se ha mencionado antes, se ha elegido el peso del perfil más grande.

En este caso se trata de una sección relativamente simple y no ha sido necesario dividirla en subelementos para facilitar el cálculo.

Lo primero que sí se ha hecho es calificar el espacio vacío como un elemento sólido aunque de área, peso e inercia negativa. A continuación hemos numerado el perfil como sigue:

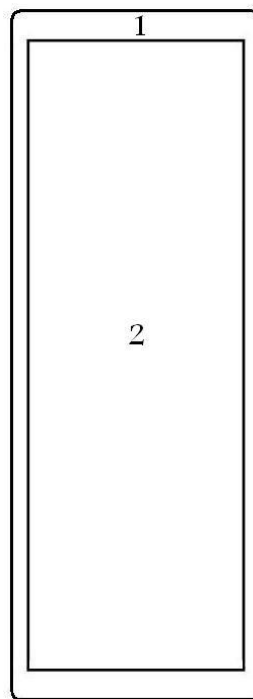


Figura 5.7 Estudio perfil cuadrado

De este modo ya podremos proceder a realizar los cálculos de los datos que buscamos.

- Área total de la sección

Una simple comprobación sirve para averiguar el área total de la sección.

$$A_{\text{TOTAL}} = A_1 - A_2$$

El área de los dos elementos puede asemejarse al de dos rectángulos por lo que sus áreas pueden calcularse de forma sencilla con la siguiente fórmula:

$$A_N = \text{Base} \cdot \text{Altura}$$

- Centro geométrico de la sección

Se calcula de la siguiente forma

Donde:

m_i = masa de cada polígono

R_i = distancia del sistema de referencia a el centro geométrico de cada sub-sección.

- Momento de inercia de la sección respecto los ejes x e y.

El momento de inercia de la sección respecto al centro de gravedad y referido a cada eje se corresponde con:

$$I_{X \text{ TOTAL}} = I_{X1} - I_{X2}$$

$$I_{Y \text{ TOTAL}} = I_{Y1} - I_{Y2}$$

Donde los subíndices X1 y X2 hacen referencia a la pieza sólida y el hueco interno respectivamente.

Al tratarse de un rectángulo, sabemos que:

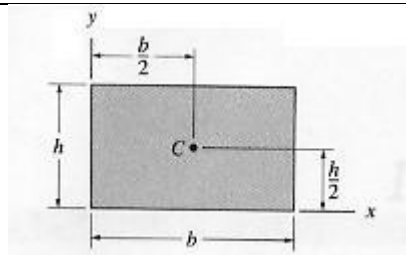


Figura 5.8 Momento de inercia (6)

Donde:

b = base del rectángulo

H = altura del rectángulo

Estos son los momentos de inercia de cada subsección referidos a sus centros de gravedad y para cada eje de estudio. Se debe recordar que el momento de inercia total se encuentra referido al centro de gravedad total de la sección y que por tanto se debe aplicar el principio de Steiner para obtener dichos valores.

Por lo tanto, operando se obtiene:

Donde:

A = área de la sección

d = distancia entre centros de gravedad

- Módulo resistente de la sección (W_{resist})

El módulo resistente de una sección nos indica una relación simple entre la tensión (σ) y el Momento flector (M_f) para una sección determinada:

$$\frac{M_f}{W_{\text{resist}}} = \sigma$$

Donde:

M_f = es el momento flector de la sección respecto a un eje

$I_{x/y}$ = momento de inercia respecto al eje indicado

b = base del perfil

h = altura del perfil

Si desarrollamos un poco las ecuaciones:

$$\frac{M_f}{W_{\text{resist}}} = \sigma \Rightarrow$$

Obteniendo las siguientes ecuaciones en caso de referirse al eje X o al eje Y:

$$\frac{M_f}{W_{\text{resist}}} = \sigma \quad \text{ó} \quad \frac{M_f}{W_{\text{resist}}} = \sigma$$

- Peso por unidad de longitud*

Una vez sabemos cómo se calculan todos y cada uno de los elementos necesarios, procederemos a su cálculo (no mostrado para ahorrar espacio y evitar contenido innecesario) y posterior exposición.

Perfil	A_{TOTAL} (mm ²)	X_G (mm)	Y_G (mm)	I_x (mm ⁴)	I_y (mm ⁴)	W_{res} (cm ³)	Peso/m
150 x 100	4600	50	84,0434783	1293,57246	695,333333	172,476329	34,96
200 x 130	6200	65	112,774194	3187,81505	1665,16667	318,781505	47,12
250 x 160	7800	80	141,512821	6374,29487	3274	509,94359	59,28
300 x 200	14100	100	179,297872	15533,6649	8945,75	1035,57766	107,16
350 x 230	16500	115	209,909091	25034,5864	14153,75	1430,54779	125,4
400 x 260	18900	130	240,52381	37788,7214	21071,75	1889,43607	143,64
450 x 300	21600	150	272,25	55373,625	32359,5	2461,05	164,16
500 x 330	24000	165	302,875	76340,5625	43987,5	3053,6225	182,4
550 x 360	26400	180	333,5	102028,3	58113	3710,12	200,64
600 x 400	30976	200	367,479339	141836,967	84109,4485	4727,89891	235,4176
650 x 430	33536	215	398,343273	180743,849	105982,238	5561,3492	254,8736
700 x 460	36096	230	429,20656	226185,267	131351,347	6462,43619	274,3296
750 x 500	43704	250	465,965404	309433,272	186860,803	8251,55391	332,1504

Tabla 5.4 valores del perfil cuadrado

3. ELECCIÓN DE LOS CASOS DE ESTUDIO

Una vez que se ha caracterizado el perfil en todos sus aspectos es necesario determinar las dimensiones óptimas del mismo. Para ello se realizará un estudio teórico del perfil en el que se valorarán todas las solicitaciones y todos los esfuerzos que podrían ocurrir en la utilización del aparato.

El primer objetivo consiste en la selección de los casos de estudio para el perfil. Para realizar esta labor se ha seguido estrictamente en la normativa vigente presente en el prontuario de ENSIDESA (3) y en la normativa UNE serie 58 (4).

Los distintos casos son combinaciones de esfuerzos con el objetivo de estudiar sus efectos en la estructura. Si recordamos lo expuesto anteriormente, los casos disponibles son:

Caso I. Aparato en servicio sin viento.

Caso II. Aparato en servicio normal con viento.

Caso III. Aparato sometido a solicitaciones excepcionales.

El caso 2 puede despreciarse debido a la inexistencia de efectos de viento sobre el aparato. Si se elimina el efecto del viento en el caso 2, el estudio es idéntico al caso 1 por lo que carece de sentido realizar su estudio.

Finalmente se concluye que los casos a tener en cuenta en el estudio son:

Caso I. Aparato en servicio sin viento.

Caso III. Aparato sometido a solicitaciones excepcionales.

El Caso I consiste en una interacción de esfuerzos horizontales y verticales, mayorados con un coeficiente.

Caso III consiste en el estudio del aparato sometido a solicitaciones excepcionales. Dichas solicitaciones excepcionales pueden referirse a los siguientes casos:

- a) Aparato fuera de servicio con viento máximo;
- b) Aparato en servicio bajo el efecto de un choque;
- c) Aparato sometido a los ensayos previstos en la Norma UNE 58118.

Pudiendo expresar estos casos por las relaciones:

- a) $S_G + S_{W \text{ máx.}}$
- b) $S_G + S_L + S_T$
- c) $S_G + \Psi \rho_1 S_1$ o $S_G + \rho_2 S_1$

En el presente estudio se descartan los ensayos del aparato y los efectos del viento máximo por lo que el caso III estudiará los efectos de la utilización en servicio del aparato bajo los efectos de un choque.

$$S_G + S_L + S_T$$

4. CRITERIOS DE CÁLCULO

A continuación se determinarán los principios básicos para estudiar los esfuerzos producidos en el perfil por motivo de las distintas sollicitaciones. Para los cálculos sucesivos se ha seguido estrictamente la normativa vigente, recurriéndose al Documento Básico SE-A Seguridad estructural-Acero (8).

4.1. Resistencia de la sección a tracción

Para satisfacer los criterios de resistencia se debe de cumplir que el esfuerzo axial de cálculo $N_{t,Rd}$ debe de ser menor que la resistencia a axil de la sección $N_{pl,Rd}$, que, en ausencia de torsión, será igual a la resistencia plástica.

4.2. Resistencia de la sección a cortante

El esfuerzo cortante de cálculo V_{Ed} será menor que la resistencia de la sección a cortante, $V_{pl,Rd}$, que, en ausencia de torsión, será igual a la resistencia plástica:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 1$$

Donde el término relativo al área a cortante, para secciones armadas cargadas paralelamente a las almas, posee el siguiente valor:

Siendo

d = canto del alma

t = espesor del alma

Debiéndose cumplir que:

Es decir, la resistencia plástica de la sección a cortante debe de ser mayor o igual al esfuerzo cortante de cálculo.

Se deberán realizar comprobaciones extra en caso de que ocurra lo siguiente:

4.3. Resistencia de la sección a flexión

El momento flector es el esfuerzo que, por normal general, determina las dimensiones de los perfiles al ser un esfuerzo crítico. Para calcular la resistencia a flexión se empleará la ecuación siguiente:

Siendo:

W_{pl} = módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión.

F_{yd} = módulo elástico minorado con el coeficiente correspondiente.

4.4. Interacción de esfuerzos

El estudio de los efectos de las diversas solicitaciones por separado es insuficiente para garantizar la resistencia de los elementos.

Para determinar las dimensiones del perfil con seguridad se debe realizar la combinación de las sobrecargas con el fin de estudiar los efectos de una interacción de esfuerzos posible en la utilización del aparato.

Para el estudio de la interacción de esfuerzos se ha utilizado la siguiente expresión:

$$\frac{M}{M_{Rd}} + \frac{V}{V_{Rd}} \leq 1$$

En caso que el cortante de cálculo calculado anteriormente sea mayor que la mitad de la resistencia de la sección a cortante, se deberá comprobar el momento flector de cálculo frente al resistente obtenido, es decir:

$$\frac{M}{M_{Rd}} \leq 1$$

En ese caso se deberá estudiar el momento flector de la siguiente forma:

Siendo p :

$$p = \frac{M}{M_{Rd}}$$

5. ESTUDIO DE LA RESISTENCIA DEL PERFIL DE ALMA DOBLE

Para determinar la resistencia del perfil de alma doble se estudiarán los casos seleccionados con anterioridad comprobando que cumplen todos los requisitos resistentes (3) (4).

5.1. Caso I. Aparato en servicio sin viento.

Este caso se caracteriza por considerar las solicitaciones estáticas debidas al peso propio S_G , las solicitaciones debidas a la carga de servicio S_L multiplicadas por el coeficiente dinámico Ψ y los dos efectos horizontales más desfavorables S_H entre los definidos.

El coeficiente de mayoración Ψ se ha definido con anterioridad y posee un valor de 1,1.

La sollicitación vertical más desfavorable para este caso es:

- Peso propio S_G y las sollicitaciones debidas a la carga de servicio S_L multiplicadas por el coeficiente dinámico Ψ

Las sollicitaciones más desfavorables para este caso son:

- Marcha oblicua
- Movimiento excéntrico del puente

Todas estas sollicitaciones deberán mayorarse a su vez con el coeficiente de mayoración γ_c determinado por el grupo al que pertenece el aparato y que posee un valor de 1,1

Antes de comenzar a estudiar los efectos de dichas solicitaciones, se debe partir de una hipótesis de cálculo que incluye la selección de un perfil válido.

Para el siguiente estudio se ha supuesto que se comienza con el estudio del perfil de dimensiones 750 x 500.

5.1.1. Resistencia de la sección a tracción

El estudio de la resistencia a tracción del perfil será obviado debido a que el único axil existente posee un valor extremadamente reducido y por tanto sus efectos se pueden despreciar.

5.1.2. Resistencia de la sección a cortante

Para el cálculo de la resistencia a cortante se utilizará la expresión comentada con anterioridad:

—=

Antes de proseguir se debe calcular el área a cortante:

Prosiguiendo con los cálculos:

—=

Se debe cumplir que:

Para el cálculo de V_{Ed} es necesario utilizar la interacción de esfuerzos en el punto de mayor esfuerzo cortante.

Donde:

Q_v = cortante vertical total

Q_h = cortante horizontal total

En el caso del presente estudio:

Se puede concluir que la sección es resistente desde el punto de vista de los cortantes y al ser claramente inferior a la mitad del valor resistencia no se estudiará la reducción de la resistencia del momento plástico.

5.1.3. Resistencia de la sección a flexión

El estudio del máximo momento soportable por la sección s realizará de la siguiente manera:

El valor de módulo plástico se ha calculado con anterioridad y su valor se obtiene de la tabla del perfil correspondiente.

Sabiendo que:

Entonces:

Tal y como se calculo con anterioridad:

Siendo de obligado cumplimiento:

5.1.4. Interacción de esfuerzos

El estudio de la interacción de esfuerzos se trata del último estudio antes de poder. En él se estudia una interacción combinada de los distintos esfuerzos presentes en la viga principal:

Los valores del perfil deben satisfacer la siguiente expresión, que al despreciarse los axiles, se obtiene:

Sustituyendo los valores se alcanza:

Por tanto se concluye que las dimensiones del perfil seleccionado son satisfactorias para las sobrecargas estudiadas en el Caso I.

5.2. Caso III. Aparato sometido a solicitaciones excepcionales.

Las solicitaciones a considerar en este cálculo son S_G debida al peso propio y S_L debida a la carga de servicio a la que se añade el mayor de los efectos de choque S_T previstos.

5.2.1. Resistencia de la sección a tracción

Al igual que en el estudio del Caso I, la resistencia a tracción del perfil será obviado debido al pequeño valor del único axil existente.

5.2.2. Resistencia de la sección a cortante

El estudio de la resistencia a cortante se realizará siguiendo el mismo procedimiento del apartado anterior:

Se debe cumplir que:

Donde:

Q_v = cortante vertical total

Q_h = cortante horizontal total

Se debe comprobar que:

Se puede concluir que la sección es resistente desde el punto de vista de los cortantes y al ser claramente inferior a la mitad del valor resistencia no se estudiará la reducción de la resistencia del momento plástico.

5.2.3. Resistencia de la sección a flexión

El estudio del máximo momento soportable por la sección se realizará siguiente el mismo procedimiento empleado en el estudio del Caso I, es decir:

Tal y como se calculo con anterioridad:

Siendo de obligado cumplimiento:

5.2.4. Interacción de esfuerzos

El estudio de la interacción de esfuerzos se trata del último estudio antes de poder. En él se estudia una interacción combinada de los distintos esfuerzos presentes en la viga principal:

Los valores del perfil deben satisfacer la siguiente expresión, que al despreciarse los axiles, se obtiene:

Sustituyendo los valores se alcanza:

Por tanto se concluye que las dimensiones del perfil seleccionado son satisfactorias para las sobrecargas estudiadas en el Caso III.

5.2.5. Flecha máxima

Hasta este momento se ha podido demostrar la validez del perfil propuesto frente a las distintas combinaciones de solicitaciones que pueden sucederse durante la utilización normal del aparato. Sin embargo, un criterio de estudio mucho más restrictivo es el criterio de flecha máxima por el cual la estructura no deberá sobrepasar una deformación límite.

Tal y como se ha podido observar a lo largo del presente estudio, el mayor esfuerzo que debe soportar la estructura es el debido a la suma de la carga nominal, el peso del carro principal y del puente de la viga principal aplicada en un único punto.

Por ello y para calcular la flecha máxima se ha realizado la hipótesis de calcular la flecha como si el estudio constara exclusivamente de una única carga puntual en el punto medio. El valor de la flecha máxima se obtiene mediante la siguiente expresión:

Donde:

P = carga aplicada

L = luz de la estructura principal

E = módulo de Young

I = momento de inercia respecto al eje de estudio

Un resultando satisfactorio se debe encontrar entre:

Aplicando las expresiones:

En el presente caso, si se sustituye los valores:

Donde:

—

Este resultado demuestra la validez de las dimensiones del perfil tomado como hipótesis frente al criterio de flecha máxima.

5.3. Estudio de la disminución del perfil de la viga principal.

Con motivo, la viga principal sufre una reducción de altura. Esta reducción se realiza de forma homogénea y lineal a lo largo de la distancia que abarca, es decir, 1,5m.

Como se puede observar, el caso más desfavorable de todos los llevados a cabo en el proyecto es el Caso I. Por esta razón será el caso de estudio para la sección recortada.

5.3.1. Resistencia de la sección a tracción

La resistencia a tracción del perfil será obviado debido al pequeño valor del único axil existente.

5.3.2. Resistencia de la sección a cortante

El estudio de la resistencia a cortante se realizará siguiendo el mismo procedimiento de los apartados anteriores:

Para poder continuar se debe calcular el área a cortante:

Prosiguiendo con los cálculos:

Se debe cumplir que:

Donde:

Q_v = cortante vertical total

Q_h = cortante horizontal total

Se debe comprobar que:

Se puede concluir que la sección es resistente desde el punto de vista de los cortantes y al ser claramente inferior a la mitad del valor resistencia no se estudiará la reducción de la resistencia del momento plástico.

5.3.3. Resistencia de la sección a flexión

El estudio del máximo momento soportable por la sección se realizará siguiendo el mismo procedimiento empleado en el estudio del Caso I, es decir:

Tal y como se calculo con anterioridad:

Siendo de obligado cumplimiento:

5.3.4. Interacción de esfuerzos

El estudio de la interacción de esfuerzos se trata del último estudio antes de poder. En él se estudia una interacción combinada de los distintos esfuerzos presentes en la viga principal:

Los valores del perfil deben satisfacer la siguiente expresión, que al despreciarse los axiles, se obtiene:

Sustituyendo los valores se alcanza:

Finalmente se puede concluir que el recorte sufrido por la estructura principal cumple con los requisitos estructurales necesarios y por tanto no es relevante de cara a la determinación de las dimensiones del perfil.

5.4. Resistencia de las alas

Debido a que el carro móvil se desplaza soportado exclusivamente por las alas inferiores del perfil, se deberá comprobar que su resistencia es la suficiente. Sin embargo, el fabricante DEMAG asegura que para nuestro modelo de polipasto, es suficiente con que el perfil verifique las siguientes características:

Acero 275

Espesor del ala > 10mm

Longitud del ala > 20mm

Estas características son claramente cumplimentadas por nuestro perfil, siendo por tanto obviadle.

Conclusión del estudio del perfil de alma doble:

Tras los numerosos cálculos satisfactorios, se concluye que el perfil 750x500 elegido se trata del perfil óptimo.

6. ESTUDIO DE LA RESISTENCIA DEL PERFIL CUADRADO

Para determinar la resistencia del perfil cuadrado empleado en las vigas testeras es necesario estudiar todas las posibles combinaciones de solicitaciones que pueden ocurrir durante su uso cotidiano (3) y (4).

6.1. Caso I. Aparato en servicio sin viento.

Tal y como se vio durante el estudio anterior, este caso se caracteriza por considerar las solicitaciones estáticas debidas al peso propio S_G , las solicitaciones debidas a la carga de servicio S_L multiplicadas por el coeficiente dinámico Ψ y los dos efectos horizontales más desfavorables S_H entre los definidos.

El coeficiente de mayoración Ψ se ha definido con anterioridad y posee un valor de 1,1.

La solicitación vertical más desfavorable para este caso es:

- Peso propio S_G y las solicitaciones debidas a la carga de servicio S_L multiplicadas por el coeficiente dinámico Ψ

Las solicitaciones más desfavorables para este caso son:

- Marcha oblicua
- Movimiento excéntrico del puente

Todas estas solicitaciones deberán mayorarse a su vez con el coeficiente de mayoración γ_c determinado por el grupo al que pertenece el aparato y que posee un valor de 1,1

Antes de comenzar a estudiar los efectos de dichas solicitaciones, se debe partir de una hipótesis de cálculo que incluye la selección de un perfil válido.

Para el siguiente estudio se ha supuesto que se comienza con el estudio del perfil de dimensiones de 450 x 300

6.1.1. Resistencia de la sección a tracción

Se debe cumplir que:

Por lo tanto se puede concluir que:

6.1.2. Resistencia de la sección a cortante

El estudio de la resistencia a cortante se realizará siguiendo el mismo procedimiento de los apartados anteriores:

—

Para poder continuar se debe calcular el área a cortante:

Prosiguiendo con los cálculos:

Se debe cumplir que:

—

Donde:

Q_v = cortante vertical total

Q_h = cortante horizontal total

Se debe cumplir que:

Tras los resultados obtenidos se puede concluir que la sección es resistente desde el punto de vista de los cortantes y al ser muy inferior a la mitad del valor resistencia no se estudiará la reducción de la resistencia del momento plástico.

6.1.3. Resistencia de la sección a flexión

El estudio del máximo momento soportable por la sección s realizará de la siguiente manera:

El valor de módulo plástico se ha calculado con anterioridad y su valor se obtiene de la tabla del perfil correspondiente.

Entonces:

Tal y como se calculo con anterioridad:

Siendo de obligado cumplimiento:

6.1.4. Interacción de esfuerzos

El estudio de la interacción de esfuerzos se trata del último estudio antes de poder. En él se estudia una interacción combinada de los distintos esfuerzos presentes en la viga principal:

Realizando los cálculos indicados:

A la vista de los resultados obtenidos podemos finalizar la sección asegurando que el perfil estudiado cumple con los requisitos exigibles para el Caso I.

6.2. Caso III. Aparato sometido a solicitaciones excepcionales.

Las solicitaciones a considerar en este cálculo son S_G debida al peso propio y S_L debida a la carga de servicio a la que se añade el mayor de los efectos de choque S_T previstos.

6.2.1. Resistencia de la sección a tracción

Se debe cumplir que:

Por lo tanto se puede concluir que:

6.2.2. Resistencia de la sección a cortante

El estudio de la resistencia a cortante se realizará siguiendo el mismo procedimiento de los apartados anteriores:

—

Para poder continuar se debe calcular el área a cortante:

Prosiguiendo con los cálculos:

Se debe cumplir que:

—

Donde:

Q_v = cortante vertical total

Q_h = cortante horizontal total

Se debe cumplir que:

Tras los resultados obtenidos se puede concluir que la sección es resistente a los esfuerzos cortantes producidos por las solicitaciones.

6.2.3. Resistencia de la sección a flexión

El estudio del máximo momento soportable por la sección se realizará de la siguiente manera:

El valor de módulo plástico se ha calculado con anterioridad y su valor se obtiene de la tabla del perfil correspondiente.

Rescatando los valores calculados anteriormente:

Tal y como se calculo con anterioridad:

Siendo de obligado cumplimiento:

6.2.4. Interacción de esfuerzos

El estudio de la interacción de esfuerzos se trata del último estudio antes de poder. En él se estudia una interacción combinada de los distintos esfuerzos presentes en la viga principal:

Realizando los cálculos indicados:

Por tanto se concluye que las dimensiones del perfil seleccionado son satisfactorias para las sobrecargas estudiadas en el Caso III.

6.3. Flecha máxima

Tal y como se ha realizado para el perfil de la viga principal, a continuación se estudiará el criterio de flecha máxima.

Para la realización de este estudio se partirá de la hipótesis empleada en el anterior estudio de flecha máxima, es decir, calcular la flecha máxima como si el estudio constara exclusivamente de una única carga puntual en el punto medio. El valor de la flecha máxima se obtiene mediante la siguiente expresión:

Para considerar el resultado satisfactorio, la flecha máxima debe encontrarse dentro del rango comprendido entre:

Es decir:

En el presente caso, si se sustituye los valores:

Donde:

—

Este resultado demuestra la validez de las dimensiones del perfil tomado como hipótesis frente al criterio de flecha máxima.

CAPÍTULO VI

ESTUDIO, DISEÑO Y DIMENSIONADO DE LAS UNIONES.

UNION ATORNILLADA – CHAPA FRONTAL

VI. ESTUDIO, DISEÑO Y DIMENSIONADO DE LAS UNIONES

1. UNIÓN ATORNILLADA

La unión de la viga principal del puente con los testeros se ha realizado mediante una unión atornillada, garantizando una unión fiable y la comunicación de esfuerzos a los testeros.

Para llevar a cabo este estudio se ha recurrido a la normativa vigente, Documento Básico SE-A Seguridad estructural-Acero (8), concretamente a la sección 8.5 “uniones atornilladas”.

1.1. Hipótesis de reparto de carga

La primera hipótesis que tenemos que comprobar es la de reparto de cargas equitativo entre todos los tornillos.

Se admite que la carga se reparte por igual entre los tornillos situados en una fila en la dirección de la tracción. Como se puede observar en la gráfica y dibujo siguiente, la distribución de esfuerzos es prácticamente constante para cada fila.

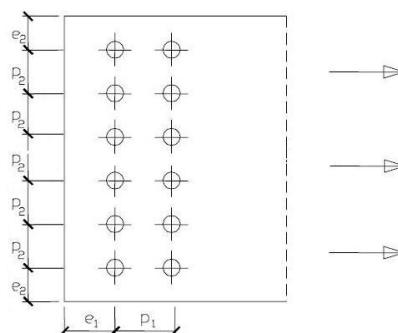


Figura 6.1 Distancias esfuerzo homogéneo (8)

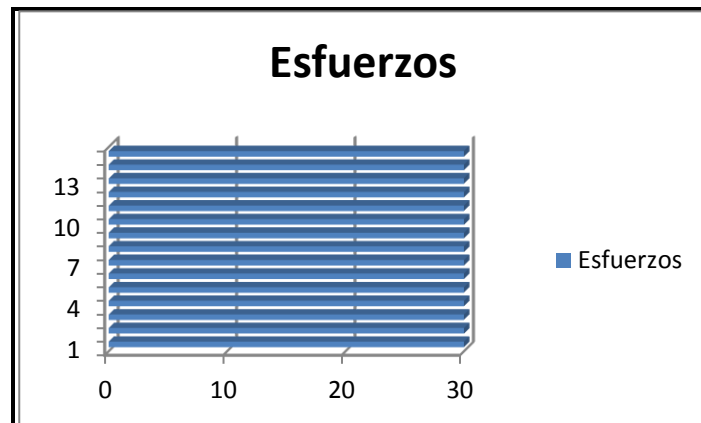


Figura 6.2 Esfuerzo homogéneo

No obstante, cuando la distancia L entre los ejes de los tornillos extremos de una unión en la dirección de la carga es mayor de $15d$, en la que d es el diámetro del vástago, la resistencia de cálculo $F_{V,Rd}$ de cada tornillo, obtenida según el apartado 8.5, se reducirá multiplicándola por el coeficiente:

Siendo

$$1,0 \geq \beta L_f \geq 0,75$$

Esto se debe a que, como se puede observar en la gráfica siguiente, la distribución de esfuerzos en los tornillos no es uniforme y por tanto el estudio de cargas utilizando esta hipótesis no sería correcto ni riguroso.

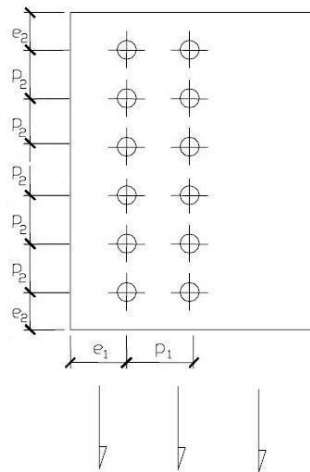


Figura 6.3 Distancias esfuerzo no homogéneo (8)

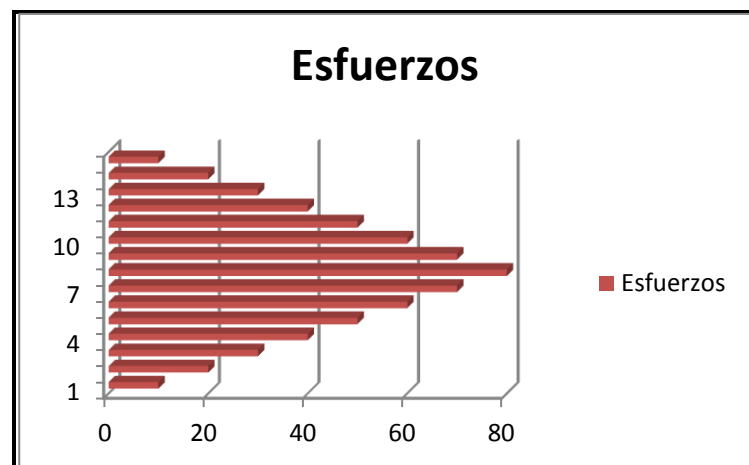


Figura 6.4 Esfuerzos no homogéneos

1.2. Métrica elegida

Como todo componente industrial, los tornillos están normalizados. Esta normalización atañe tanto el diámetro de la cabeza como la del vástago pasando por el paso de la rosca. En el mercado se puede encontrar un gran número de diámetros normalizados. Algunos de ellos están indicados en la tabla siguiente:

Medida nominal y paso normal	Diámetro broca agujero (mm)	Medida nominal y paso fino.	Diámetro broca agujero (mm)
M4 x 0.7	3.3	M4 x 0.35	3.65
M5 x 0.8	4.2	M5 x 0.50	4.5
M6 x 1	5	M6 x 0.50	5.5
M8 x 1.25	6.8	M8 x 0.75	7.25
M10 x 1.50	8.5	M10 x 0.75	9.25
M12 x 1.75	10.2	M12 x 1	11
M14 x 2	12	M14 x 1	13
M16 x 2	14	M16 x 1.25	14.75
M18 x 2.5	15.5	M18 x 1.25	16.75
M20 x 2.5	17.5	M20 x 1.50	18.50
M22 x 2.5	19.5	M22 x 1.50	20.50
M24 x 3	21	M24 x 1.50	22.50
M27 x 3	24	M27 x 2	25
M30 x 3.5	26.5	M30 x 2	28

Figura 6.5 Métricas existentes (6)

En este proyecto se dispone de las siguientes métricas de tornillos:

Métrica	16	20	22	24	27	30
---------	----	----	----	----	----	----

Tabla 6.1 Métricas disponibles (8)

Antes de comenzar a calcular lo primero que se debe hacer es averiguar la sección efectiva de los tornillos. Esta se denomina Área resistente (A_s) el área resistente del tornillo, definida como la correspondiente al diámetro medio entre el interior y el de los flancos de la rosca según norma DIN 13.

Métrica	16	20	22	24	27	30
Diámetro (mm)	16	20	22	24	27	30
Área resistente (mm^2)	157	245	303	353	459	561

Tabla 6.2 Área resistente del tornillo (8)

1.3. Clase de los tornillos

La clase es un coeficiente que relaciona el límite elástico (f_y) y la tensión de rotura (f_u). Si se tiene un tornillo clase A.B significa que:

$$\text{- Tensión de rotura } (f_u) = 100 \times A$$

-Tensión de límite elástico (f_y) = $f_u \times B$

Las clases existentes más utilizadas son las siguientes:

Clase	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
Tensión de límite elástico f_y (N/mm ²)	240	300	480	640	900
Tensión de rotura f_u (N/mm ²)	400	500	600	800	1000

Tabla 6.3 Clases y resistencias (8)

Para garantizar la seguridad, se multiplicará la resistencia del tornillo por un coeficiente que reducirá su resistencia mecánica:

$$f_{yb} = f_{ub} / \gamma_{M3}$$

1.4. Elección de tornillos.

Entre todas las métricas existentes y todas las calidades disponibles, se ha realizado la hipótesis de empezar eligiendo un caso:

Métrica 20

Clase 8.8

Las principales razones de la selección de este caso y no otro han sido:

- Simplificar los cálculos.
- Eliminar las clases bajas ya sería apropiado en este tipo de estructuras.

- Las métricas más altas no resultan óptimas de cara a garantizar una distribución de cargas homogénea.

En caso de no superar los requisitos se procederá de modo iterativo hasta conseguir el diámetro y la clase que satisfagan las necesidades. El procedimiento en el supuesto de que el primer caso no sea satisfactorio será el siguiente:

- Primero se aumentará la clase, es decir su resistencia
- Si continua sin ser válido se aumentará el espesor con el fin de aumentar el área resistente

Un posible itinerario de los cálculos a realizar, en función de las circunstancias que se sucedan, podría ser el siguiente:

	1	2	3	4	5	6
Métrica	16	16	20	20	22	22
Clase	8.8	10.9	8.8	10.9	8.8	10.9

Tabla6.4 Casos de estudio

1.5. Disposición geométrica

La disposición espacial de los tornillos es un factor clave en el diseño de uniones atornilladas. Puede ocasionar distribuciones no uniformes de tensiones originando rotura de los tornillos, de la chapa o incluso fallo total de la unión.

Se recomienda utilizar una disposición lo más equilibrada y simétrica posible de cara a evitar todos los posibles problemas originados por una mala distribución de los tornillos.

En este proyecto se ha elegido una disposición clásica. En ella los tornillos se encuentran equidistantes entre ellos y respecto a los bordes de la chapa o alas / alas

de la estructura. Con ello se pretende obtener una distribución de esfuerzos lo más balanceada y equilibrada posible. Ésta puede verse en la Figura a continuación:

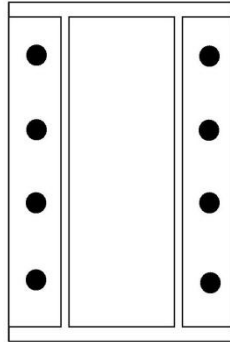


Figura 6.6 Disposición de los tornillos

Para garantizar una buena disposición es necesario que se cumplan ciertas restricciones. En la siguiente ilustración se puede observar la nomenclatura utilizada para definir las distintas dimensiones.

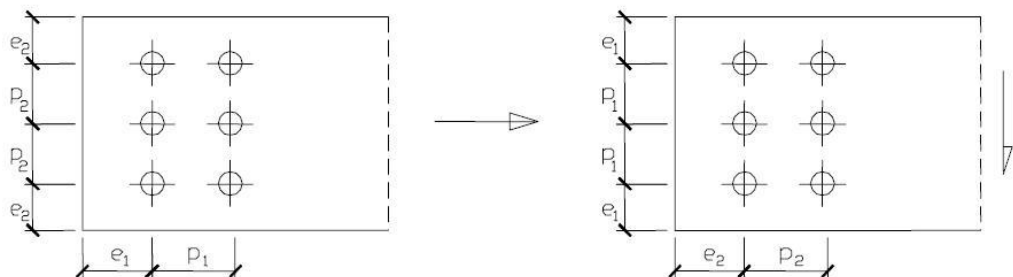


Figura 6.7 Distancias geométricas (8).

Los límites máximos y mínimos para las distancias entre ejes de agujeros o de éstos a los bordes de las piezas, son (figura 6.7):

Como se ha demostrado anteriormente, los esfuerzos en dirección vertical son varios órdenes superiores a los de otras direcciones. Por esta razón se realiza la hipótesis de estudiar exclusivamente la disposición geométrica que soporte dichos

esfuerzos. A pesar de estas hipótesis se incluirán con el objetivo de minorar la resistencia de los componentes y actuar desde el lado de la seguridad.

a) distancias mínimas:

i) en la dirección de la fuerza que se transmite:

- $e_1 \geq 1,2 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza;
- $p_1 \geq 2,2 d_0$ entre ejes de agujeros;

En el presente proyecto:

ii) en la dirección perpendicular a la fuerza que se transmite:

- $e_2 \geq 1,5 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza;
- $p_2 \geq 3,0 d_0$ entre ejes de agujeros;

En el presente caso:

Siendo d_0 el diámetro del agujero.

b) distancias máximas:

i) al borde de la pieza:

- Para e_1 y e_2

En el caso de estudio:

ii) entre tornillos:

- en elementos a compresión será $p \leq 14 t$ y $p \leq 200 \text{ mm}$; siendo t el espesor en mm de la menor de las piezas que se unen;

- en elementos a tracción:

Filas exteriores $p_e \leq 14 t$ y $p_e \leq 200 \text{ mm}$;

Filas interiores $p_i \leq 28 t$ y $p_i \leq 400 \text{ mm}$.

Se puede observar que nuestra disposición claramente cumple las especificaciones recomendadas por la normativa.

1.6. Resistencia de las uniones atornilladas sin pretensar

Se obtendrá a partir de la distribución de esfuerzos entre tornillos y de las resistencias de cada uno de éstos según su esfuerzo, sea en cortante, tracción, o tensión combinada.

1.6.1. La resistencia de cálculo a cortante por tornillo

Tendrá como valor el menor de la resistencia a cortante de las secciones del tornillo o a aplastamiento de la chapa de unión, sin que la resistencia total de la unión supere la resistencia a desgarro del alma.

1.6.1.1. Resistencia a cortante en la sección transversal del tornillo:

Siendo

n = número de planos de corte;

f_{ub} = resistencia última del acero del tornillo;

A = área de la caña del tornillo A_d o el área resistente del tornillo A_s , según se encuentren los planos de cortadura en el vástago o la parte roscada del tornillo respectivamente.

Sustituyendo los valores:

1.6.1.2. Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

Siendo

d = diámetro del vástago del tornillo;

t = menor espesor de las chapas que se unen;

f_u = resistencia última del acero de las chapas que se unen;

α = es el menor de:

— — — —

Donde

e_1 = distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite;

p_1 = separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite;

d_0 = diámetro del agujero;

1.6.1.3. Resistencia a desgarro del alma:

Corresponde a la menor resistencia a rotura del bloque material que remata cualquiera de las líneas entre agujeros extendida a los bordes más cercanos. Se

contabilizarán las resistencias en tracción o cortadura de las áreas netas de chapa que correspondan a cada tipo de desgarro.

En el presente proyecto y debido a la disposición de la unión atornillada y a la presencia de una chapa frontal soldada en los extremos este cálculo se desprecia. Esto se debe a la imposibilidad de propagarse una grieta o desgarro a lo largo del alma debido a la existencia de 2 almas y a las dimensiones de la viga.

Por lo que se concluye que la resistencia límite de la unión a cortante es:

Es condición necesaria que:

Donde:

Aplicando los valores:

Y finalmente se puede afirmar que:

1.6.2. Resistencia a tracción.

La resistencia de cálculo a tracción $F_{t,Rd}$, por tornillo será la menor de:

1.6.2.1. La resistencia a tracción del tornillo:

Siendo:

A_s = área resistente a tracción del tornillo.

Si se sustituye los valores en los lugares correspondientes:

Es decir:

En tornillos de cabeza avellanada se admitirá como resistencia máxima el 70% de la expresada.

1.6.2.2. La resistencia de cálculo a punzonamiento

Referida a la cabeza del tornillo o la tuerca, $F_{p,Rd}$, dada por la expresión:

Siendo

t_p = espesor de la placa que se encuentra bajo el tornillo o la tuerca;

d_m = menor valor de la distancia media entre vértices y caras de la cabeza del tornillo o la tuerca.

Si aplicamos los valores disponibles obtenemos:

1.6.3. Solicitación combinada.

Cuando un tornillo esté solicitado simultáneamente a tracción y a esfuerzo cortante, además de cumplir separadamente las condiciones para cortadura y tracción, debe verificar la condición de interacción siguiente:

Siendo:

$F_{v.Ed}$ = esfuerzo de cálculo perpendicular al eje del tornillo;

$F_{t.Ed}$ = esfuerzo axial de cálculo por tornillo al que en su caso se añadirán las tracciones debidas al efecto palanca;

$F_{v.Rd}$ = resistencia de cálculo frente a la cortadura del vástago;

$F_{t.Rd}$ = resistencia de cálculo en tracción.

Sustituyendo se obtiene:

Al haber obtenido estos resultados se puede concluir que la unión atornillada soporta los efectos de cualquier solicitación que pueda producirse en la utilización del aparato.

2. CHAPA FRONTAL

Durante este apartado se calculará la resistencia de la unión mediante chapa frontal entre la estructura principal y la chapa atornillada a la viga testera.

Para llevar a cabo este estudio se ha seguido con firmeza la normativa vigente, Documento Básico SE-A Seguridad estructural-Acero (8), concretamente a la sección 8.4.4 “Empalmes en piezas flectadas” subapartado 2, “Chapa frontal”.

Se ha realizado la hipótesis de que la unión soldada entre la chapa frontal y el perfil de cajón de la estructura principal cumple todos los requisitos tanto de normativa como de seguridad y por tanto posee una resistencia mucho mayor a la de los materiales de los cuales están constituidas tanto la estructura como la chapa frontal.

A su vez, para mantener una distribución uniforme de tensiones, se ha elaborado la hipótesis de utilizar una chapa del mismo espesor que la viga testera y de las mismas dimensiones que el área total del perfil de la viga principal, incluyendo los espacios ala-alma y alma-alma.

En las uniones por chapa frontal el fallo de la unión se produce en función de la rigidez de la chapa. Los distintos mecanismos de rotura pueden ser:

- Rotura a tracción de los tornillos sin o con formación simultánea de charnelas en la chapa
- Formación de dos charnelas en la chapa.

Para el cálculo de la resistencia de la unión a cortante podrá realizarse la hipótesis de que puede calcularse como si no existiese el momento flector.

Se podrá realizar el cálculo siguiendo lo indicado más adelante para las uniones entre viga y pilar con chapa frontal atornillada.

Nuestro caso de elementos unidos con tornillos iguales sin pretensar, que sean suficientemente rígidos o dispongan de suficientes rigidizadores para poder considerarlos como indeformables, el cálculo puede efectuarse de la forma siguiente:

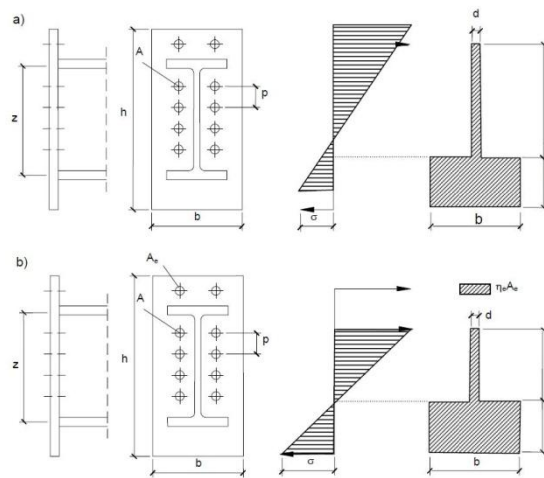


Figura 6.8 Chapa frontal (8)

La posición de la línea neutra se obtiene elásticamente (figura 6.8), resultando la ecuación:

$$\frac{c}{c_1} = \frac{I_{xx}}{I_{xx} + I_{yy}}$$

Siendo:

c , c_1 y b dimensiones de la sección equivalente, representadas en la figura 6.9;

d = ancho del área equivalente de sección de los tornillos, dada por:

$$d = \frac{A_s}{b}$$

Donde:

A = área de un tornillo;

n = número de tornillos.

Σp = suma de las separaciones verticales entre tornillos;

Si se aplica la ecuación y se sustituye obtenemos:

Por lo tanto:

—

— —

— —

—

Si observamos la Figura 8.6 se puede comprobar que

Por lo tanto tenemos un sistema de 2 ecuaciones con 2 incógnitas que se puede resolver, obteniéndose:

El momento de cálculo que podrá transmitir la unión, será el que se produzca cuando el tornillo más alejado alcance su resistencia de cálculo a tracción, $F_{t, Rd}$ y su valor es:

$$\text{_____}$$

Con los significados de 6.8 y siendo n_e el número de tornillos de la fila exterior.

Sustituyendo los valores en la fórmula, obtenemos el valor que buscamos:

$$\text{_____}$$

Para finalizar el estudio de la estructura, se debe comprobar finalmente que:

Donde si sustituimos el valor obtenido en el estudio de los distintos casos obtenemos:

Como se puede observar el momento máximo que puede soportar la unión de chapa frontal es superior.

Si se realiza la operación siguiente podemos obtener el coeficiente de seguridad para la unión:

Sustituyendo ambos valores se obtiene:

Se puede concluir que la unión es totalmente satisfactoria desde un punto de vista de la resistencia poseyendo un coeficiente de seguridad aceptable.

CAPÍTULO VII

ESTUDIO DE OTROS ELEMENTOS

VII. ESTUDIO DE OTROS ELEMENTOS

Las ruedas de los testers son una parte muy importante de la estructura. Sobre ellas descansa la totalidad de la carga (tanto del peso de la estructura como de la carga de servicio) además de ser las responsables de mantener un mínimo de adherencia para garantizar el movimiento de la estructura por los carriles.

Las características esenciales de las ruedas deben de ser las óptimas, es decir:

- Poseer una mínima resistencia para soportar las cargas a las que está sometida
- Mantener un coeficiente de rozamiento prácticamente constante en todo tipo de circunstancias.
- Poseer la cierta durabilidad.

En definitiva, asegurar la homogeneidad de sus características durante su periodo de vida.

Para las ruedas, al igual que para el polipasto, se ha recurrido al fabricante DEMAG (8). Éste recomienda el modelo DRS para el tipo de grúa y el rango de cargas de nuestro proyecto.



Figura7.1 Rueda DRS (16)

1. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

Sus principales características son:

- Maximiza la capacidad de carga por eje en función del diámetro. Esto es algo muy recomendable en proyectos como en nuestro en el que se posee una reducida altura.
 - Posee una carcasa totalmente estanca lo que protege los componentes de influencias externas gracias a su certificación militar IP68.
 - La carcasa puede fabricarse, en función de la categoría, en aluminio de alta calidad fundido a presión o en coquilla resistente a la corrosión para los modelos inferiores o a partir de fundición nodular de alta resistencia.
 - El proceso exclusivo de mecanizado garantiza unas tolerancias ajustadas y un acabado perfecto gracias a sus tratamientos superficiales. Todo esto asegura una mayor resistencia frente a la corrosión y la fatiga.
3. La pintura epoxi patentada de hasta 90µm de espesor garantiza un recubrimiento óptimo, resistente

Para la elección del modelo de rueda no basta con conocer la carga a soportar, existen otros factores muy importantes en su elección y que no pueden pasarse por alto ya que podría suponer que realizásemos una elección equivocada. Estos factores son:

2. TIPO DE MONTAJE

En función de las labores a realizar, de la carga de servicio, de la disposición geométrica disponible tanto de los testers de la grúa como de la estructura donde se ubica, existen multitud de tipos de montajes:

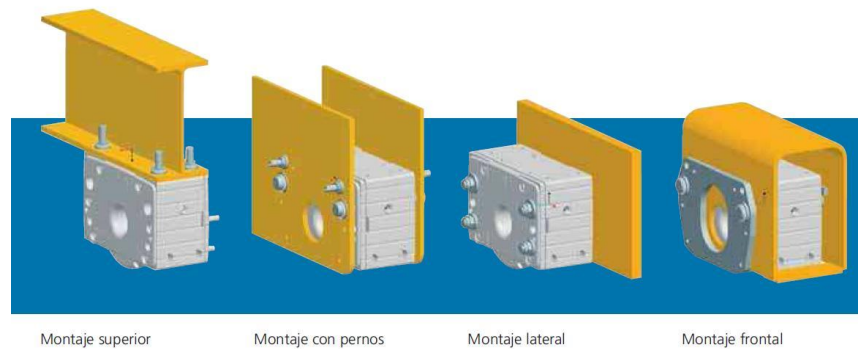


Figura 7.2 Tipos de montaje (16)

- Superior
- Con pernos
- Lateral
- Frontal

Todos ellos poseen sus características únicas y sus ventajas e inconvenientes. Nosotros no tenemos libertad al elegir ya que al utilizar un perfil cuadrado cerrado para los testers estamos obligados a utilizar un montaje frontal. Sus principales características son:

a) Ventajas

- Mayor resistencia
- Mejora la protección ambiental de las ruedas
- Mejora la protección contra impactos de las ruedas

b) Inconvenientes

- Multiplica exponencialmente la dificultad del montaje y desmontaje
- Dificulta la accesibilidad para inspecciones o reparaciones

3. TIPO DE PERFIL DE RUEDA

Dependiendo de la actividad que vaya a realizar la estructura, de la superficie sobre la que va a rodar la rueda y el nivel de seguridad requerido, existen multitud de perfiles y materiales para las ruedas. Algunos de ellos pueden observarse en la Figura siguiente:

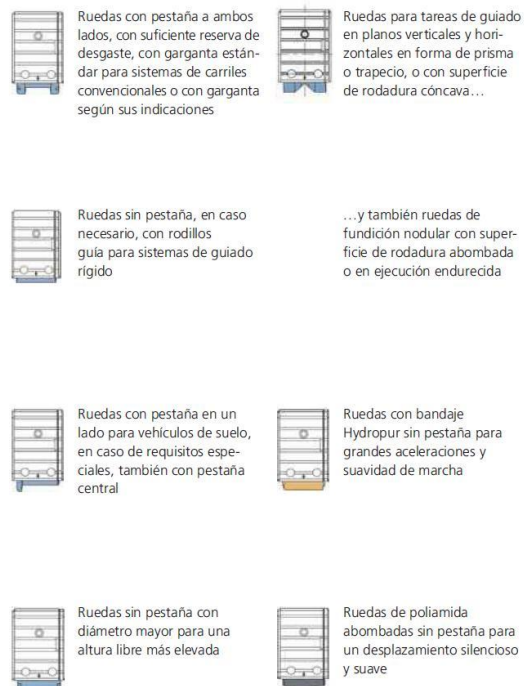


Figura 7.3 Tipos de superficies (16)

Nuestra decisión está influenciada por:

- La existencia de un carril de rodadura para evitar descarrilamientos y una marcha lo más recta y suave posible
- Gran carga por rueda
- Maquinaria industrial de uso intensivo

Por lo tanto nuestra única opción es la de elegir una rueda de pestaña a ambos lados con superficie de desgaste y garganta estándar. Esta decisión nos asegura un

correcto funcionamiento de la maquinaria a lo largo de su ciclo de vida así como un nivel de seguridad acorde a la normativa.

4. ESTUDIO Y ELECCIÓN DEL MODELO

El modelo DRS se comercializa con diferentes tamaños y cargas máximas aplicables. En la tabla a continuación se exponen las de todos los modelos:

Bloques de rueda DRS Tamaño	Capacidad de carga máx. kg	Rueda Ø mm	Peso kg	Dimensiones en mm				
				a1	b1	b2	c1	h1
DRS 112	2750	112	7,3	190	47	80	96	131
DRS 125	5000	125	9,9	220	60	80	98	147,5
DRS 160	7000	160	18,3	275	65	89	110	187
DRS 200	10000	200	35,7	340	65	101	130	238
DRS 250	16000	250	62	385	75	110	150	281
DRS 315	22000	315	117	470	90	130	180	349,5
DRS 400	30000	400	201	580	110	155	210	440
DRS 500	40000	500	352	700	110	170	240	566

Figura 7.4 Modelos de ruedas (16)

A continuación vamos a elegir el modelo óptimo para nuestro proyecto. Éste será el que con el menor peso y tamaño pueda soportar con seguridad la carga de la estructura.

Para la carga hemos supuesto un caso todavía más extremo al de los testeros. Hemos realizado la hipótesis de que cada rueda soporta la mitad de la carga total de la estructura:

Si lo convertimos a kilogramos obtenemos:

Mirando en la tabla concluimos que el modelo indicado para este proyecto es el DRS200, que tiene las siguientes características:

Tamaño	Carga	Diámetro	Peso	a1	b1	b2	c1	h1
DRS 200	10000	200	35,7	340	65	101	130	238

Tabla 7.1 valores rueda (16)

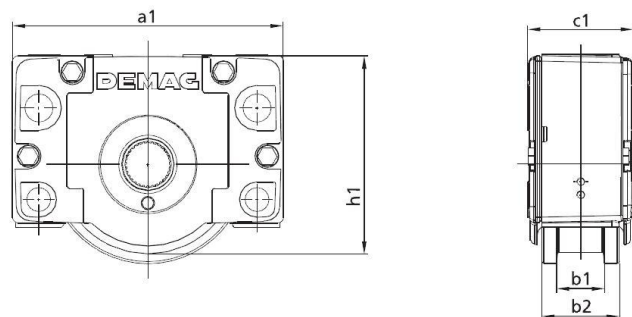


Figura 7.5 Dimensiones rueda (16)

Si recordamos el apartado en el que se calculaban los efectos de la temperatura, podremos ver la longitud de la garganta de la rueda es bastante mayor a la necesaria para evitar esfuerzos por gradientes térmicos



CAPÍTULO VIII

CONCLUSIONES

VIII. CONCLUSIONES

A lo largo de este capítulo se pretende plasmar las principales conclusiones obtenidas tras la realización del proyecto.

1. CONCLUSIONES DEL PROYECTO

La principal conclusión que se puede extraer es que se ha cumplido el objetivo principal del proyecto que consistía en diseñar una grúa para un almacén con una capacidad de 5tn.

Este objetivo principal se encuentra dividido en 3 secciones que serán comentadas a continuación:

a) Estudio y diseño de la viga principal

Durante esta sección del proyecto se ha calculado y diseñado un perfil inventado con la geometría de un perfil de alma doble. Tras el estudio de las posibles sobrecargas existentes en su uso cotidiano en un ámbito industrial, la conclusión es que se ha demostrado que la hipótesis de utilizar un perfil de alma doble del tipo 750x500 con las dimensiones especificadas en el apartado es satisfactorio de cara a resistir las sobrecargas que pueda encontrar en su uso industrial, siempre y cuando estas se encuentren en las circunstancias estudiadas.

b) Estudio y diseño de las vigas testeras

En este capítulo se ha realizado el estudio diseño de las vigas testeras siguiendo la normativa vigente. Tras analizar los esfuerzos producidos por las sobrecargas, se concluye que durante el desarrollo de este apartado se ha demostrado que la utilización del perfil cuadrado de dimensiones 450x300 es satisfactorio de cara a resistir las solicitaciones típicas de uso.

c) Estudio y diseño de la unión principal. Unión atornillada – chapa frontal

A lo largo de esta parte del proyecto se ha estudiado y diseñado la unión principal entre la viga principal y las vigas testeras. Para ello se ha seguido estrictamente la normativa vigente según el CTE y el documento básico de seguridad estructural. Tras analizar todas las posibles combinaciones de esfuerzos se ha obtenido el resultado de que la hipótesis realizada de utilizar 8 tornillos de métrica 20 y clase 8.8 con la disposición geométrica elegida es suficiente para el caso de estudio.

Para finalizar me gustaría afirmar que, a pesar de la complejidad y envergadura del tema propuesto para este proyecto, se puede considerar que el resultado ha sido muy satisfactorio.

2. CONCLUSIONES PERSONALES

La primera conclusión que puede extraerse es que este proyecto es un proyecto muy enriquecedor desde un punto de vista académico.

A lo largo de toda su realización se ha aprendido mucho acerca de la normativa vigente en temas bastante dispares, aunque finalmente estuvieran relacionados, así como para este proyecto.

Gracias a él se ha ampliado y asentado mejor los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera sobre cálculo y diseño de maquinaria y estructuras.

Para finalizar me gustaría añadir que el presente trabajo ha sido un paso muy importante en mi carrera y que estoy seguro que los conocimientos adquiridos serán usados en mi vida profesional de una u otra forma.



CAPÍTULO IX

TRABAJOS FUTUROS

IX. TRABAJOS FUTUROS

A lo largo de este apartado se ha expandido las ideas acerca de los posibles trabajos futuros que podrían realizarse de cara a completar el diseño de este puente grúa. A pesar de las claras diferencias de profundidad y temática presentada por los trabajos futuros propuestos, no se ha realizado ninguna clasificación de ellos.

1. ESTUDIO DE FATIGA

Debido a la complejidad de la falla por fatiga, ha sido imposible realizar un estudio con más profundidad que la determinada por la normativa vigente.

El fallo por fatiga es y creo que sería muy buena idea someter a examen si no todas, las partes más importantes de esta estructura de cara a poder mejorar la precisión de su vida útil, reducir el tamaño de los elementos reduciendo el peso y el costo

2. MAYOR VARIEDAD DE PERFILES

A pesar de la complejidad de este proyecto, si es cierto que puede llegar a echarse en falta una mayor comparación frente a perfiles normalizados.

Como futuro proyecto podría tomarse el estudio e inclusión de alternativas a los perfiles utilizados. Este estudio podría valorarse en función de parámetros como el peso, el coste de los materiales, el coste de fabricación o la disponibilidad geográfica de dichos perfiles.

3. CÁLCULO DEL CAMINO DE RODADURA Y VIGAS DE RODADURA

Todo puente grúa se desplaza sobre unos carriles de rodadura. Estos a su vez se encuentran soportados por las vigas de rodadura.

Una ampliación interesante podría ser el estudio de estos elementos en función de las cargas estudiadas en este proyecto.

4. ESTUDIO ESPECÍFICO DE LAS UNIONES SOLDADAS

Durante la creación de este proyecto se han realizado las hipótesis de considerar las uniones soldadas como más resistentes que los materiales que unen.

Un posible camino para la ampliación del proyecto podría ser hacer un estudio en detalle de las uniones soldadas. Se podría estudiar su composición, su dureza, su vida útil o su método de aplicación.

5. PROCESO DE FABRICACIÓN Y DE CONSTRUCCIÓN

Todo proyecto industrial posee dos caras a la hora de llevarse a cabo:

- Una parte teórica en la que se evalúan las distintas variables que entran en juego
- Una parte real en la que se tienen en cuenta factores que afectan en el día a día de estos proyectos

Un buena forma de completar este proyecto podría ser la inclusión de un estudio de fabricación de los distintos elementos (perfiles, ruedas de fundición, etc...) con el fin de ahondar en la temática y poder optimizar en mayor medida todos los

apartados tomados. Se podría estudiar desde el tipo de colada hasta los rodillos de los perfiles laminados pasando por tratamientos químicos o térmicos incluso un estudio de la pintura utilizada.



CAPÍTULO X

BIBLIOGRAFÍA

X. BIBLIOGRAFÍA

1. Bases de cálculo. Prontuario ENSIDESA tomo 1. 2011
2. Valores estáticos. Prontuario ENSIDESA. Tomo 2. 2011
3. Estructuras elementales. Prontuario ENSIDESA. Tomo 3. 2011
4. Normativa UNE serie 58.
5. Normativa UNE 76-201-88
6. Apuntes de la asignatura “Teoría de estructuras y construcciones industriales I”
7. Apuntes de la asignatura “Teoría de estructuras y construcciones industriales II”
8. Documento Básico SE-A Seguridad estructural-Acero.2009. Ministerio de fomento
9. Documento Básico SE-AE Seguridad-Acciones en la edificación. 2009. Ministerio de fomento
10. Documento Básico SE Seguridad estructural. 2009. Ministerio de fomento
11. Enciclopedia Larousse
12. Enciclopedia Wikipedia. Grúas. 10/9/2011
[http://es.wikipedia.org/wiki/Gr%C3%BAa_\(m%C3%A1quina\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Gr%C3%BAa_(m%C3%A1quina))
13. Enciclopedia Encarta
14. Apuntes de la asignatura “Diseño de máquinas”
15. Prontuario de la asignatura “Diseño de máquinas”
16. Catalogo DEMAG. 2011
17. Catalogo ABUS. 2011
18. Catalogo GH. 2011
19. Google Maps 8/8/2011 <http://maps.google.es/>